KHOA HỌC KHÁM PHÁ

TRỊNH XUÂN THUẬN

PHẠM VĂN THIỀU – PHẠM VIỆT HƯNG *dịch*

SỰ ĐẦY của CÁI KHÔNG

La Plénitude du Vide

NHÀ XUẤT BẢN TRẺ

SỰ ĐẦY
của
CÁI
KHÔNG

KHOA HỌC KHÁM PHÁ

Chủ biên

PHẠM VĂN THIỀU

VŨ CÔNG LẬP

NGUYỄN VĂN LIỄN

http://khoahocvakhampha.com.vn

© Edition Albin Michel – Paris 2016. Bản tiếng Việt © NXB Trẻ, 2018.

BIỂU GHI BIÊN MỤC TRƯỚC XUẤT BẢN DO THƯ VIỆN KHTH TP.HCM THỰC HIỆN
General Sciences Library Cataloging-in-Publication Data

Trịnh Xuân Thuận, 1948-

Sự đầy của cái không / Trịnh Xuân Thuận ; Phạm Văn Thiều, Phạm Việt Hưng dịch. - T.P Hồ Chí Minh : Trẻ, 2018.

344 tr. ; 20 cm. - (Khoa học khám phá).

Nguyên bản : La plénitude du vide.

1. Chân không (Vật lý học). 2. Vũ trụ học. 3. Đạo giáo -- Triết học. 4. Loài người -- Triết học. 5. Triết học và khoa học. I. Phạm Văn Thiều. II. Phạm Việt Hưng. III. Ts. IV. Ts: La plénitude du vide.

533.501 -- ddc 23
T833-T53

Sự đầy của cái không
8 934974 157069

TRỊNH XUÂN THUẬN

PHẠM VĂN THIỀU - PHẠM VIỆT HƯNG *dịch*

SỰ ĐẦY của CÁI KHÔNG

La Plénitude du Vide

NHÀ XUẤT BẢN TRẺ

Để tưởng nhớ song thân và em gái,
và dành tặng cho tất cả những ai đang đi tìm
cái chân không màu mỡ.

Lời tựa

Sau khi khám phá các tính chất của vô hạn[1], việc tôi quan tâm cái Không – chân không – là một sự tiếp nối hoàn toàn tự nhiên. Con người đứng giữa hai cái vô hạn, vô cùng bé và vô cùng lớn. Như Pascal đã nhận xét: "Con người trong thiên nhiên là gì? Là hư vô với vô hạn, là tất cả với hư không, là khoảng giữa không có gì và tất cả, xa vô cùng để hiểu được hai thái cực[2]." Cái Không, giống như vô hạn, không ngừng xuất hiện dưới nhiều hình thức trong các lĩnh vực khác nhau của tư tưởng con người. Nó không chỉ thu hút sự chú ý của các nhà triết học và thần học, mà còn cả các nhà toán học, vật lý và vũ trụ học. Và mỗi lần, sự tiếp xúc với cái Không lại cho phép con người tiến bộ và phát triển. Leonardo da Vinci đã đúng khi nhận xét: "Trong tất cả các khái niệm tuyệt vời

---

1 Trịnh Xuân Thuận, *Désir d'infinis* – Khát vọng tới cái vô hạn, NXB Trẻ 2015

2 Blaise Pascal, *Pensées* (Tư tưởng)

mà chúng ta mang trong mình, hư vô có lẽ là khái niệm màu mỡ nhất."

Cái Không thể hiện trong thế giới toán học qua số không. Có một điều bí ẩn về vấn đề này đó là: tại sao số không không sinh ra ở phương Tây, bất chấp những tiến bộ to lớn trong toán học của người Hy Lạp, mà lại sinh ra ở phương Đông? Tại sao số không lại gây ra sự sợ hãi đến như vậy trong tư tưởng phương Tây, trong khi lại được chào đón với vòng tay rộng mở bởi tư tưởng phương Đông? Tại sao lại phải chờ đến tận thế kỷ 5, các thiên tài toán học Ấn Độ cuối cùng mới trả cho số không vị trí của một con số đích thực? Chương đầu tiên sẽ cố gắng trả lời những câu hỏi này.

Trong chương thứ hai, chúng ta sẽ khám phá sự khởi đầu khoa học của khái niệm chân không. Làm thế nào nó đi vào khoa học vật lý với nguyên tử luận của Leucippus và Democritus khoảng thế kỷ 5 trước Công Nguyên (CN)? Và tại sao tiếng nói của các nhà nguyên tử luận lại nhanh chóng bị lấn át bởi những người có ảnh hưởng lớn hơn nhiều, là Plato và đặc biệt là Aristotle, những người đã lớn tiếng cho rằng "tự nhiên sợ chân không"? Làm thế nào mà vào thế kỷ 16, sau khoảng hai mươi thế kỷ *horror vacui* (sợ chân không) theo Aristotle, chân không không còn là chủ đề của các thảo luận thần học và triết học nữa để cuối cùng trở thành một câu hỏi khoa học có thể được giải quyết bằng thực nghiệm? Chúng ta sẽ xem bằng cách nào mà Torricelli, một học trò của Galileo tại Italy, và

Pascal tại Pháp, qua một loạt các thí nghiệm tuyệt vời dựa trên các cột thủy ngân (hoặc chất lỏng khác) trong ống thủy tinh, đã thành công tạo ra một chân không vật lý bền vững trên Trái Đất, và chứng minh được rằng trong một số tình huống nhất định, tự nhiên không hề sợ chân không. Vậy làm thế nào mà các thực nghiệm này chứng tỏ được sự tồn tại thực tế của áp suất khí quyển và trọng lượng của không khí?

Nhưng nếu chân không có thể được tạo ra trên Trái Đất, liệu chúng ta có thể chắc chắn rằng không gian ngoài hành tinh này là hoàn toàn trống rỗng? Chương thứ ba sẽ xem xét các ý tưởng của Aristotle về một chất vô hình gọi là "ether" nhẹ hơn không khí, nước, đất và lửa, tràn ngập trong toàn bộ vũ trụ. Khái niệm ether đã tiến hóa theo thời gian như thế nào? Tại sao các nhà khoa học vĩ đại như Newton với lý thuyết vạn vật hấp dẫn vào năm 1687, và Maxwell với chứng minh ở thế kỷ 19 rằng ánh sáng chẳng qua cũng chỉ là một loại sóng điện từ, lại cảm thấy cần thiết phải dùng tới ether để củng cố lý thuyết của họ? Các lý thuyết khoa học phải chịu sự kiểm chứng bằng thực nghiệm hoặc quan sát. Làm thế nào chúng ta có thể chứng minh sự tồn tại (hoặc không tồn tại) của ether? Ở đây chúng ta sẽ xem xét làm thế nào mà các thí nghiệm tinh xảo của Michelson và Morley đã cho phép các nhà vật lý, vào cuối thế kỷ 19, bước đầu trả lời được câu hỏi này. Nhưng chỉ tới đầu thế kỷ 20, thông qua thuyết tương đối của mình, nhà cách mạng Einstein mới đưa ra giải pháp

cuối cùng và quyết định dứt điểm cho số phận của ether. Và khi làm như thế, ông cũng đã làm thay đổi một cách sâu sắc các quan niệm thông thường của chúng ta về thời gian và không gian. Vậy làm thế nào mà một nhà vật lý trẻ có thể thực hiện được một kỳ công như vậy?

Thuyết tương đối không phải là lý thuyết duy nhất làm thay đổi triệt để quan điểm của chúng ta về thực tại. Một lý thuyết lớn khác của thế kỷ 20, cơ học lượng tử, môn vật lý mô tả thế giới các nguyên tử và các hạt hạ nguyên tử, cũng đưa ra một khái niệm chân không hoàn toàn mới. Trong chương thứ tư, chúng ta sẽ tập trung vào khái niệm mới mẻ này của chân không, bằng cách tự hỏi rằng vật chất tạo nên cơ thể chúng ta và các đối tượng xung quanh ta liệu có phải chỉ là "gần như trống rỗng" như các nhà vật lý khẳng định hay không. Và giả sử nếu loại bỏ được tất cả vật chất trong không gian, thì liệu chúng ta có nhận được chân không tuyệt đối không? Câu trả lời ở đây, thật đáng ngạc nhiên và lạ lùng, là sẽ phải viện tới cái mà các nhà vật lý gọi là "nguyên lý bất định Heisenberg", một nguyên lý chi phối thế giới của những cái vô cùng bé. Để đạt được điều này, chúng ta sẽ phải sử dụng các khái niệm mới như mờ nhòe của năng lượng và các thực thể kỳ lạ hoàn toàn không phù hợp với lẽ phải thông thường, chẳng hạn như các hạt ảo hoặc sự chứa đầy của chân không.

Chương thứ năm thảo luận về vũ trụ học, vì vũ trụ gắn kết chặt chẽ với chân không. Làm thế nào mà vũ trụ lại chuyển từ không tồn tại thành tồn tại, từ hư vô thành một

cái gì đó? Vai trò của chân không trong sự ra đời của vũ trụ là gì? Bằng cách nào chân không có thể là nguyên nhân của "bang" (nổ) trong Big Bang, vụ nổ nguyên thủy nổi tiếng đã xảy ra cách đây 13,8 tỷ năm, gây ra sự bùng nổ điên cuồng của vũ trụ từ một trạng thái vô cùng nhỏ, nóng và đặc? Làm thế nào mà chân không lại tạo ra được vẻ đẹp và sự phức tạp của thế giới? Vũ trụ đã giảm tốc trong bảy tỷ năm tồn tại đầu tiên của nó do bị lực hấp dẫn của vật chất và năng lượng của nó hãm lại. Nhưng kể từ tỷ năm thứ tám, nó được tăng tốc, tức bị đẩy bởi một lực phản-hấp dẫn đầy bí ẩn gọi là "năng lượng tối" do hoàn toàn thiếu thông tin. Liệu chân không có là nguyên nhân làm tăng tốc của vũ trụ? Liệu năng lượng tối có phải là một biểu hiện của năng lượng của chân không?

Và cuối cùng, chương thứ sáu sẽ so sánh tri thức duy lý về vũ trụ với tri thức thần bí phương Đông. Cái Không đóng một vai trò quan trọng trong thế giới quan của Đạo giáo và Phật giáo. Đối với những người tu Đạo, Đạo là cái Không – nguồn gốc của vũ trụ. Bằng cách đồng nhất với cái Không nguyên thủy mà con người trở thành tấm gương phản chiếu thế giới và có thể ngộ ra được nhịp điệu của thời gian và không gian. Phật giáo đã nói một cách tường minh về cái Không hay sự trống rỗng của vạn vật. Do sự tương liên của các hiện tượng, không có gì có thể tồn tại tự thân, hay là nguyên nhân của chính mình. Làm thế nào mà các quan điểm này của tâm linh phương Đông lại có thể khớp nối với các khái niệm khoa học về chân không?

Cuốn sách này được dành cho tất cả các "chính nhân" muốn hiểu biết về sự phát triển khoa học và triết học của chân không. Khi soạn thảo, tôi đã cố gắng để tránh các chứng minh quá kỹ thuật, vì vậy người đọc không cần tới các kiến thức khoa học tiên tiến. Đồng thời, khi trình bày như thế, tôi cũng cố gắng không làm tổn hại tới sự chặt chẽ và tính chính xác. Cuốn sách có kèm theo nhiều hình minh họa cho phép vừa làm sáng tỏ những lập luận của tôi vừa tạo cho việc đọc thêm phần sinh động.

TRỊNH XUÂN THUẬN
Paris, tháng 6 năm 2016

I.

Cái Không trong toán học

Chân không và hư vô

Khái niệm chân không đã ám ảnh nhân loại kể từ buổi bình minh của thời gian. Chân không là gì? Từ điển *Petit Larousse* giải thích: "Một không gian không chứa gì hết." Còn *Từ điển văn hóa*[1] thì giải thích kỹ hơn: "Một không gian không bị chiếm giữ bởi vật chất." Khái niệm về một không gian tồn tại từ trước có quan hệ mật thiết và gắn bó chặt chẽ với chân không. Chân không là sự vắng mặt của vật chất trong một không gian xác định, không gian này có thể là bên trong một chai rượu vang hoặc trong toàn bộ vũ trụ. Nhưng điều hấp dẫn chúng ta trong khái niệm chân không là, ngoài khái niệm về một không gian hoàn toàn trống rỗng, nó còn gợi ra khái niệm về hư vô, thường gắn liền với nó. Cũng chính từ điển *Petit Larousse* cho chúng ta biết rằng hư vô là "không tồn tại" hoặc "những gì còn chưa tồn tại hoặc đã ngừng tồn

---

[1] *Dictionnaire culturel en langue française*

tại." Trái với khái niệm chân không, hư vô không ngầm định một không gian nào cả: do hư vô là không tồn tại, nên thậm chí khái niệm không gian cũng là vô nghĩa. Khái niệm về hư vô mê hoặc chúng ta bởi vì nó buộc chúng ta phải đối mặt với những vấn đề chuyển đổi từ vô thể tới bản thể, từ không tồn tại đến tồn tại. Nó khiến ta phải suy nghĩ về quá khứ lúc chúng ta chưa tồn tại và về tương lai khi chúng ta sẽ không còn nữa.

Do liên quan nhiều tới câu hỏi khoa học trong cuốn sách này, tôi sẽ dùng từ "chân không", bởi vì nó ngầm định tới sự tồn tại trước của một không gian. Ý tưởng về một không gian ngầm định thực sự là cần thiết để mô tả tất cả các hiện tượng đã biết trong khoa học. Tuy nhiên, từ "hư vô" sẽ hữu ích khi các khái niệm về không gian không trực tiếp tham gia, mà thường là trường hợp trong một bối cảnh triết học.

Làm trống rỗng tâm trí

Hình dung hư vô không phải là điều dễ dàng: làm thế nào có thể tưởng tượng thứ không tồn tại? Bằng suy nghĩ, tôi có thể cố gắng loại bỏ được tất cả những thứ xung quanh mình: chiếc ghế nơi tôi ngồi, bàn nơi tôi viết, căn phòng, ngôi nhà, tất cả các ngôi nhà trong khu phố, cây cối, hoa và núi, thành phố, quốc gia, châu lục này, Trái Đất, Mặt Trời, hàng trăm tỷ ngôi sao trong dải Ngân Hà và hàng trăm tỷ thiên hà trong vũ trụ quan sát được. Cuối cùng xuất hiện trong tâm trí tôi một vũ trụ trống rỗng hoàn toàn, mà tôi tưởng tượng được bao

bọc trong một sự im lặng nặng nề, chìm ngập trong bóng tối đen như mực và sự lạnh lẽo băng giá.

Nhưng khi xem xét một vũ trụ đang ngày càng trống rỗng, quá trình suy nghĩ của tôi không hề chậm lại, nó vẫn tiếp tục hoạt động. Và nếu nó không dừng lại, là bởi vì không thể ngăn chặn được suy nghĩ. Như George Steiner đã nhận xét rất đúng: "Có hai quá trình mà con người không thể dừng lại chừng nào họ sống: thở và suy nghĩ. Thật ra, chúng ta có thể giữ cho mình ngừng thở lâu hơn là nhịn suy nghĩ. Ngẫm lại thì, việc không có khả năng ngừng suy nghĩ, ngừng tư duy, là một hạn chế đáng sợ.[1]" Trong ngữ cảnh này, cụm từ "làm trống rỗng tâm trí mình" sẽ được diễn giải sai nếu chúng ta hiểu nó theo nghĩa loại bỏ hoàn toàn các suy nghĩ ra khỏi tâm trí, vì nhiệm vụ này là bất khả thi. Trong thực tế, nên hiểu cụm từ này, như thường được viện dẫn trong ngữ cảnh thiền, không phải là dừng suy nghĩ lại mà là dừng các hành động và sự phân tâm, ngăn chặn sự hỗn loạn của suy nghĩ và tập trung vào khoảnh khắc hiện tại. Thiền định không phải là để ngăn chặn tất cả các suy nghĩ, một điều bất khả thi, mà là ngừng sự xáo động thường hằng của suy nghĩ để tìm đến sự thanh thản nội tâm; đó là chuyển đổi từ chế độ "làm" sang "tồn tại"; không phải dừng lại ở quá khứ hay nghĩ về tương lai, mà tập trung vào thời điểm hiện tại; là tập trung vào hơi thở và nhận thức được cơ thể và các đối tượng xung quanh; là để loại bỏ hoàn toàn

---

[1] George Steiner, *Dix raisons (possibles) à la tristesse de pensée* (Mười lý do (có thể) cho nỗi buồn của tư duy)

tiếng ồn và sự giận dữ, để thoát khỏi sự ồn ào, hỗn loạn và cảm giác xáo động nhằm lấy lại khoảng trống của chánh niệm và sự chuyên chú hiện tại[1].

Liệu hư vô có phải là một ý tưởng giả?

Triết gia Henri Bergson (1859-1941) mô tả thí nghiệm tưởng tượng của chính mình nhằm loại bỏ các thông tin tới từ các giác quan tấn công từ mọi phía và để khoanh vùng sự không tồn tại: "Tôi sẽ nhắm mắt, bịt tai, chặn dần các cảm giác đến với tôi từ thế giới bên ngoài: xong, toàn bộ nhận thức của tôi tan biến, và đối với tôi, vũ trụ vật chất biến mất trong im lặng và bóng đêm." Nhưng ông còn tiến xa hơn nữa. Thí nghiệm tưởng tượng của ông để hình dung ra hư vô đã dẫn đến kết luận đầy nghịch lý rằng dù có làm bất cứ điều gì đi nữa, ông cũng không thể hình dung nổi sự hủy diệt toàn bộ vật chất trong vũ trụ, bởi vì chắc chắn ông sẽ vấp phải chính mình, ý thức của mình, và chính sự tồn tại của mình: "Tôi vẫn còn tồn tại, và không thể ngừng tồn tại. Tôi vẫn ở đây, với các cảm giác hữu cơ đến với tôi từ ngoại biên cũng như từ bên trong cơ thể, với những kỷ niệm mà các nhận thức trong quá khứ để lại cho tôi, và cả những ấn tượng, tích cực và đầy đủ, về sự trống rỗng mà tôi vừa thực hiện xung quanh mình. Làm thế nào có thể loại bỏ tất cả những thứ đó? Làm thế nào để loại bỏ được chính bản thân mình?"

---

[1] Christophe André, *Méditer, jour après jour* (Thiền định mỗi ngày)

Bất chấp tất cả những nỗ lực để giảm bớt các cảm giác mà cơ thể gửi tới và để loại bỏ ý thức, chúng vẫn xuất hiện dai dẳng: "Tại đúng thời điểm mà ý thức của tôi bị tắt, thì một ý thực khác lại xuất hiện; hay đúng hơn là nó lại tự bật lên, và xuất hiện ngay trước đó để trợ giúp cho sự biến mất của cái đầu tiên... Và như vậy, bất chấp tôi làm gì, tôi luôn cảm nhận được điều gì đó, hoặc là từ bên ngoài hoặc từ bên trong. Khi tôi không còn biết gì về các đối tượng bên ngoài nữa thì nghĩa là tôi đang nương náu trong ý thức về chính bản thân mình; nếu tôi có xóa bỏ được nội tâm này, thì việc xóa bỏ sẽ trở thành một đối tượng tưởng tượng với tôi, và lần này, cảm nhận như là một đối tượng bên ngoài cái tôi đang biến mất. Dù bên ngoài hoặc bên trong, thì vẫn luôn có một đối tượng mà trí tưởng tượng của tôi hình dung." Bởi vì không thể loại bỏ được ý thức của chính mình, triết gia này kết luận rằng "ý tưởng hư vô tuyệt đối, theo nghĩa xóa bỏ mọi thứ" là không có ý nghĩa, và là "một ý tưởng tự phá hủy chính mình, một ý tưởng giả, và đơn giản chỉ là một từ thông thường[1]". Đối với Bergson, ý tưởng hư vô không thể là một khái niệm có giá trị bởi mọi ý tưởng đều bao hàm ý thức. Nhưng ngay khi có ý thức mà nói về hư vô thì không có ý nghĩa.

Kết luận hư vô chỉ là một "ý tưởng giả, tự phá hủy mình" của triết gia này dựa trên giả thiết rằng vũ trụ luôn có các sinh vật có ý thức, có khả năng nhận thức được vẻ đẹp và sự hài hòa của nó. Điều này chắc chắn là đúng trong trường hợp của

---

[1] Henri Bergson, *Lévolution créatrice* (Tiến hóa sáng tạo)

vũ trụ chúng ta tính đến thời điểm hiện tại, 13,8 tỷ năm sau Big Bang. Trên một hành tinh gọi là Trái Đất, hành tinh thứ ba của một ngôi sao được gọi là Mặt Trời, ở vùng ngoại ô của một thiên hà được gọi là Ngân Hà, sự sống đã được đánh thức cách đây 3,8 tỷ năm, còn ý thức thì xuất hiện khá lâu sau đó, chỉ cách đây khoảng một vài chục ngàn năm. Tôi định nghĩa ý thức ở đây như là khả năng tượng trưng hóa thế giới, và khả năng đặt các câu hỏi kiểu như, "Tôi đến từ đâu? Tôi sẽ đi đâu? Ý nghĩa cuộc sống của tôi là gì? Tôi sẽ như thế nào sau khi chết?"

Nhưng nếu vũ trụ của chúng ta hiện đang có chứa ít nhất một hình thức của ý thức, là chúng ta (có thể có các dạng sống thông minh khác trong vũ trụ, nhưng chúng ta không thể chắc chắn chừng nào chưa được tiếp xúc với ET – người ngoài hành tinh), thì có lẽ trong quá khứ đã từng có những giai đoạn vắng mặt ý thức. Vì vậy, chúng ta phải lần ngược trở lại 3,8 tỷ năm trong lịch sử vũ trụ, khi mà các tế bào sống đầu tiên xuất hiện trên Trái Đất. Và khi vũ trụ được sinh ra, cách đây khoảng 13,8 tỷ năm, lúc đó không có sự sống, con người, Trái Đất, hành tinh, Mặt Trời, các ngôi sao, thiên hà, nguyên tử hay thậm chí các hạt cơ bản. Với ý thức hiện nay, chúng ta cũng có thể hình dung rất rõ rằng thời kỳ nguyên thủy này khi mà chưa có gì tồn tại chính là hư vô. Nói cách khác, nếu ý thức, ban đầu vắng mặt, và sau đó xuất hiện trong lịch sử của vũ trụ, thì lập luận của Bergson chống lại ý tưởng hư vô không còn giá trị nữa.

Vũ trụ học hiện đại đã dạy chúng ta rằng sự xuất hiện của

sự sống và do đó cả ý thức nữa phụ thuộc vào giá trị cực kỳ chính xác của mười lăm con số đặc trưng cho tự nhiên gọi là các "hằng số vật lý" – ví dụ như tốc độ ánh sáng, khối lượng và điện tích của electron – và các điều kiện ban đầu của vũ trụ, tức các thuộc tính mà vũ trụ sở hữu khi sinh ra như khối lượng và năng lượng nguyên thủy. Chỉ cần các hằng số vật lý và điều kiện ban đầu này thay đổi một chút thôi, là sự sống và ý thức sẽ không xuất hiện. Độ chính xác của sự điều chỉnh một số hằng số và điều kiện ban đầu là ngoài sức tưởng tượng. Ví dụ, chỉ cần thay đổi chữ số thập phân thứ 60 của mật độ ban đầu của vũ trụ, thì các ngôi sao sẽ không hình thành cũng như không thể tạo ra các nguyên tố nặng, bằng lò luyện hạt nhân, cần thiết cho sự sống và ý thức. Vũ trụ từ đó sẽ rất cằn cỗi. Một số lý thuyết vật lý cho rằng có thể có một số vô hạn các vũ trụ khác tồn tại song song với vũ trụ của chúng ta, tạo thành một đa vũ trụ khổng lồ (ta sẽ quay lại khái niệm này sau). Trong các vũ trụ song song này, các hằng số vật lý và điều kiện ban đầu sẽ có tất cả các giá trị khả dĩ. Phần lớn các vũ trụ này có một tổ hợp các hằng số "thua" và sẽ không có sự sống và ý thức. Trong các thế giới này, hư vô đúng là một ý tưởng giả vì ở đó sẽ không có ý thức để nhận thức được nó. Nhưng trong vũ trụ của chúng ta, đó là một tổ hợp "thắng", ở đó ý thức xuất hiện, và khái niệm hư vô không phải là một ý tưởng giả. Nó vẫn là một khả năng siêu hình thực cần phải khám phá.

Trong số tất cả các gương mặt mà con người – các nhà triết học, thần học, vũ trụ học và toán học – đã trao cho hư vô

và chân không theo thời gian, chúng ta hãy bắt đầu với chân không toán học.

Vương quốc của zero

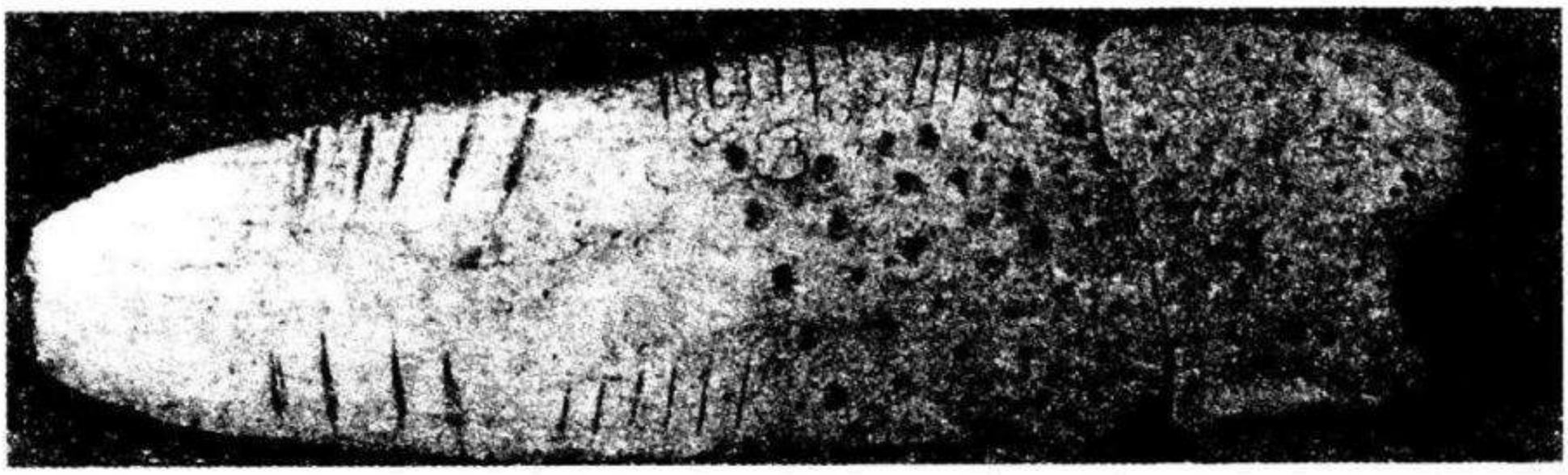
Trong thế giới toán học, chân không có dạng chính là số 0 (zero). Từ "zero" có nguồn gốc từ tiếng Ấn Độ là *sunya* nghĩa là "trống rỗng" hay "hư vô". Dịch theo nghĩa đen, *sunya* sẽ thành *sifr* theo tiếng Ả Rập (cũng có nghĩa là "trống rỗng") và thành *zephirum* theo tiếng Latin, đó chính là từ đã cho ra đời từ "zero".

Khái niệm zero ngày nay đã rất quen thuộc với chúng ta, tuy nhiên không phải luôn là như thế. Từ lâu, đối với một số xã hội cổ xưa ở phương Tây, nó thể hiện một ý niệm nguy hiểm và đáng sợ, có thể làm phương hại đến cấu trúc của suy luận logic và do đó có thể làm lung lay chính các nền tảng của cả xã hội. Vì nguy cơ gắn với nó, nên phải mất rất lâu số 0 mới xác lập được dạng hiện nay của nó, mặc dù tư tưởng toán học này đã nảy sinh từ hàng chục ngàn năm với mong muốn của con người đo đếm những vật sở hữu (chẳng hạn các viên đá hay công cụ), các thực thể xung quanh (như cây hay chó sói), hay đơn giản chỉ là để đánh dấu thời gian trôi qua. Đếm chính là xác định số lượng các phần tử trong một tập hợp các vật và gán một con số cho số lượng đó. Ý tưởng về con số ngày nay dường như quá hiển nhiên, nhưng thực tế đó là kết quả của một quá trình dài trừu tượng hóa và chín muồi của trí lực, một con đường dài và đầy gian khổ của tư

duy toán học qua nhiều thế kỷ. Cái mà với chúng ta chỉ là các phép tính đơn giản trong cuộc sống hằng ngày – cộng, trừ, nhân các con số để kiểm tra hóa đơn, bản thanh toán ở nhà hàng hoặc một tài khoản ngân hàng – thực ra là một thực tiễn đáng kinh ngạc chỉ xuất hiện rất muộn trong lịch sử nhân loại. Chúng ta sẽ thấy rằng những tính toán bằng văn bản, và chỉ bằng văn bản, với mười chữ số đại diện cho tất cả các con số trên thế giới, chỉ trở thành khả thể với việc phát minh ra số 0. Nhân loại cần tới hàng nghìn năm để học cách chuyển từ số lượng sang các con số và rồi phát minh ra số 0 để có thể viết ra tính toán.

Để biểu diễn số lượng bằng các con số, bước đầu tiên trong quá trình trừu tượng hóa là kết hợp cái khác biệt với cái tương tự. Con người phải tính tới sự tồn tại đơn lẻ của các vật, đồng thời phải có khả năng xóa bỏ các khác biệt cụ thể của chúng. Ví dụ, để đếm số cừu trong bầy, mục đồng phải thừa nhận rằng tất cả các con cừu là cùng một loài, mặc dù mỗi con đều có những khác biệt về tính chất vật lý: như mỗi con cừu có khối lượng, kích thước riêng, v.v...

Sau đó, còn phải xây dựng một hệ đếm. Con người thuộc những nền văn minh nhân loại sớm nhất, thời kỳ đồ đá, đã đếm bằng cách khắc lên một vật cứng, mỗi vết khắc tương ứng với một đơn vị của tập hợp. Vật cứng được sử dụng đôi khi là gỗ hoặc đá, nhưng thường hơn cả là xương động vật vì chúng bền hơn với sự tàn phá của thời gian và độ ẩm. Các nhà khảo cổ đã tìm thấy những "khúc xương đánh số" mang các vết khắc có niên đại gần ba mươi ngàn năm.



Gạc tuần lộc có các vạch khắc niên đại khoảng 15 000 năm trước CN.

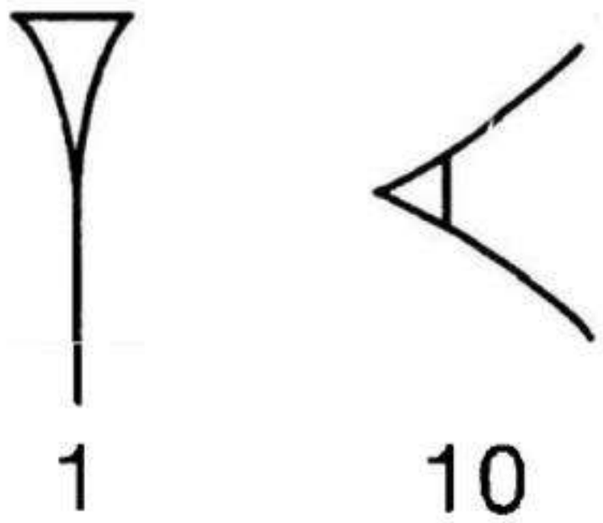
Ban đầu, hệ thống đếm rất thô sơ. Người thượng cổ chỉ biết phân biệt "một" và "nhiều". Theo thời gian, cách đếm đã trở nên có tính kiến tạo hơn – "một", "hai" và "nhiều" rồi "một", "hai", "ba" và "nhiều" – nhưng không tiến xa hơn. Rất nhiều ngôn ngữ nguyên thủy không có từ ngữ cho các số lớn hơn 3. Thậm chí hiện nay điều này vẫn còn đúng đối với một số bộ lạc da đỏ Nam Mỹ.

Con người cũng sử dụng cơ thể của mình để đếm. Không phải là các vết cắt như với trường hợp của xương, gỗ hoặc đá, mà là làm tương ứng một con số với một số bộ phận cơ thể. Ví dụ, các ngón tay ứng với số 5. Nhiều nền văn minh đã phát triển một hệ thống rất phức tạp dựa trên cử chỉ của các ngón tay được sắp đặt khác nhau: duỗi dài, uốn cong hoặc gập, mỗi tổ hợp vị trí của các ngón tay gắn với một số khác nhau. Hệ thống đếm này có thể biểu diễn một lượng rất lớn (hình bên). Chẳng hạn, vào thế kỷ 16, sử dụng một cách "tính số" dựa trên các ngón tay của cả hai bàn tay, người Trung Quốc có thể biểu diễn được các số vượt quá một tỷ! Trong khi một số các hệ đếm dùng cơ số 5, theo số lượng ngón tay trên một bàn tay,

Hình vẽ cho thấy cách sử dụng các ngón tay của cả hai bàn tay để tính số: các ngón của bàn tay trái để tính hàng đơn vị và hàng chục, và các ngón bàn tay phải để tính hàng trăm và hàng ngàn, và các vị trí khác nhau của tay đối với một số bộ phận cơ thể để tính hàng chục ngàn và trăm ngàn.

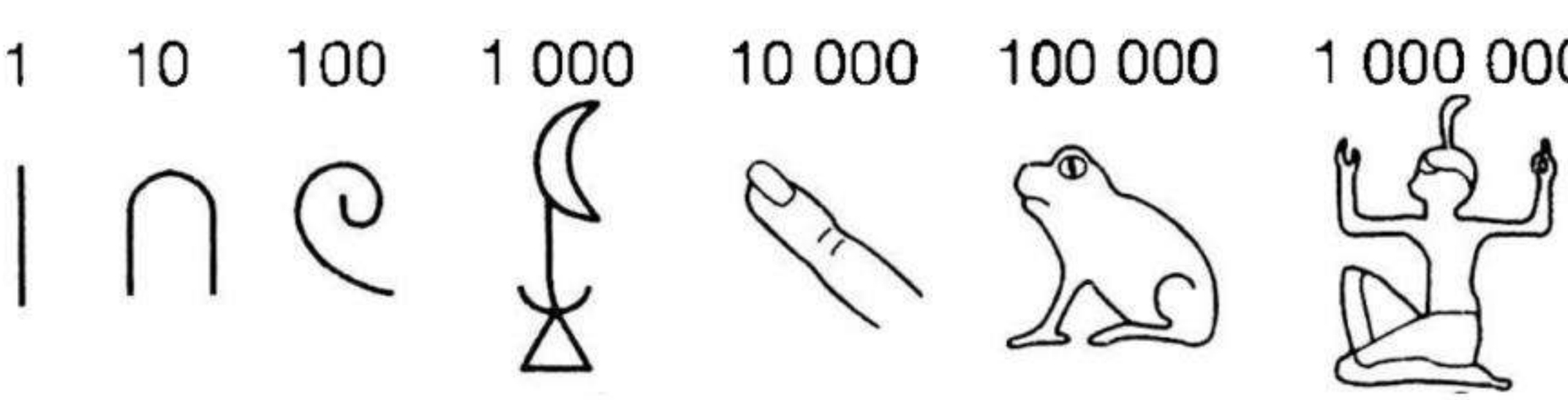
thì hệ đếm hiện tại của chúng ta (và của nhiều nền văn hóa khác) dùng cơ số 10, tức là ta đếm theo nhóm đơn vị (hoặc gói) mười, tức tổng số ngón tay. Một số bộ lạc da đỏ sử dụng hệ đếm theo cơ số 8: thoạt nhìn có vẻ lạ lùng nhưng sẽ không lạ nữa khi bạn nhận ra rằng đây là tổng các khoảng giữa mười ngón tay của chúng ta.

Một bước quyết định trong việc xây dựng hệ đếm là chuyển từ các con số sang chữ số, với chữ số là các biểu tượng được dùng để biểu diễn con số. Chẳng hạn, hệ đếm hiện tại của chúng ta được dựa trên các chữ số "Ả Rập", 1, 2, 3... 9, cùng với số 0 nổi tiếng. Nhưng có những nền văn minh khác không sử dụng các chữ số như các biểu tượng, mà dùng hình vẽ của các vật. Ví dụ, một trong những cách đánh số lâu đời nhất được biết tới là cách đếm của người Sumer vào khoảng năm 3000 trước CN, họ sử dụng hình vẽ một cái đinh để biểu diễn đơn vị và một cái giùi để biểu diễn một chục (xem hình vẽ). Người Sumer không chỉ sử dụng hệ thập phân mà còn sử dụng cả hệ 60. Hiện nay chúng ta vẫn sử dụng hệ 60 để đếm thời gian, một giờ có giá trị là sáu mươi phút và một phút là sáu mươi giây.



Hệ đêm của người Sumer

Hệ đếm tượng hình của người Ai Cập, được phát triển vào cùng khoảng thời gian đó, cũng dựa trên hệ thập phân, và sử dụng một chuỗi các hình vẽ: ví dụ, một thanh dọc thể hiện đơn vị, một hình quai thể hiện chục, một sợi dây cuộn lại là trăm, một bông hoa sen là ngàn, một ngón tay dựng thẳng là vạn (mười ngàn), một con ếch là một trăm ngàn và một người đàn ông giơ hai tay lên trời là triệu[1] (xem hình). Trong các hệ đếm này, biểu tượng đóng vai trò như các chữ cái của bảng chữ cái đối với chữ viết. Nhưng tất cả các hệ thống này đều thiếu số 0!



Cách đếm Ai Cập

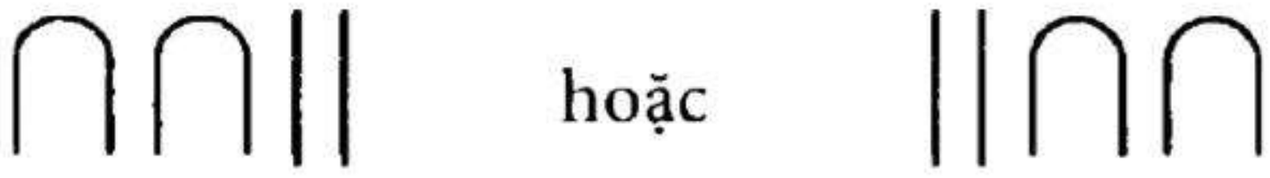
Sau khi đã thiết lập các dấu hiệu và biểu tượng, cần phải xây dựng một quy ước để sắp xếp chúng theo không gian nhằm biểu diễn một số, hoặc ngược lại, để giải mã cách biểu diễn của số. Việc bố trí theo không gian của chữ số hoặc biểu tượng luôn luôn là tuyến tính, các dấu hiệu được triển khai theo chiều ngang hoặc theo chiều dọc, với một hướng đọc xác định trước. Quy luật này dựa trên cái được gọi là "nguyên tắc cơ số", nghĩa là thay vì phải đếm bằng đơn vị (1

---

[1] Denis Guedj, *L'empire des nombres* (Vương quốc các con số)

+ 1 + 1...), ta có thể đếm theo các nhóm hoặc các gói. Điều này cho phép rút ngắn đáng kể việc viết các số lớn. Cơ số ở đây có thể là bất kỳ số nào. Cơ số phổ biến nhất được sử dụng là cơ số thập phân: chẳng hạn, với hệ thập phân, số 121 là bằng $1 + 2 \times 10 + 1 \times 10^2$ và có giá trị là 121 đơn vị. Đây là cơ số chúng ta sử dụng ngày nay. Nhưng việc áp dụng hệ thập phân không phải là phổ quát. Người Maya đã sử dụng cơ số 20, trong khi người Sumer, như chúng ta đã thấy, sử dụng cơ số 60. Tùy thuộc vào cơ số sử dụng mà cùng một số sẽ có giá trị khác nhau. Chẳng hạn, trong hệ nhị phân (cơ số 2), số 121 là $1 + 2 \times 2 + 1 \times 2^2$, chỉ có chín đơn vị thay vì 121 đơn vị trong hệ thập phân.

Trong đại đa số các hệ đếm, giá trị của một chữ số không phụ thuộc vào vị trí nó đứng trong cách biểu diễn của số đó. Ví dụ, trong cách đếm số La Mã, I là 1 và V là 5 bất kể chúng đứng ở đâu khi viết. Nghĩa là vị trí của chữ số không được tính – theo cả nghĩa đen lẫn nghĩa bóng. Chẳng hạn, số 4 được viết là IV, số 6 là VI, thứ tự của các biểu tượng chỉ ra rằng cần lấy 5 trừ đi 1 (I trước V) hay là cộng 1 với 5 (I sau V). Tương tự, vị trí của chữ số không quan trọng trong hệ đếm tượng hình Ai Cập. Ví dụ, số 22 có thể được biểu diễn bằng một trong hai cách:

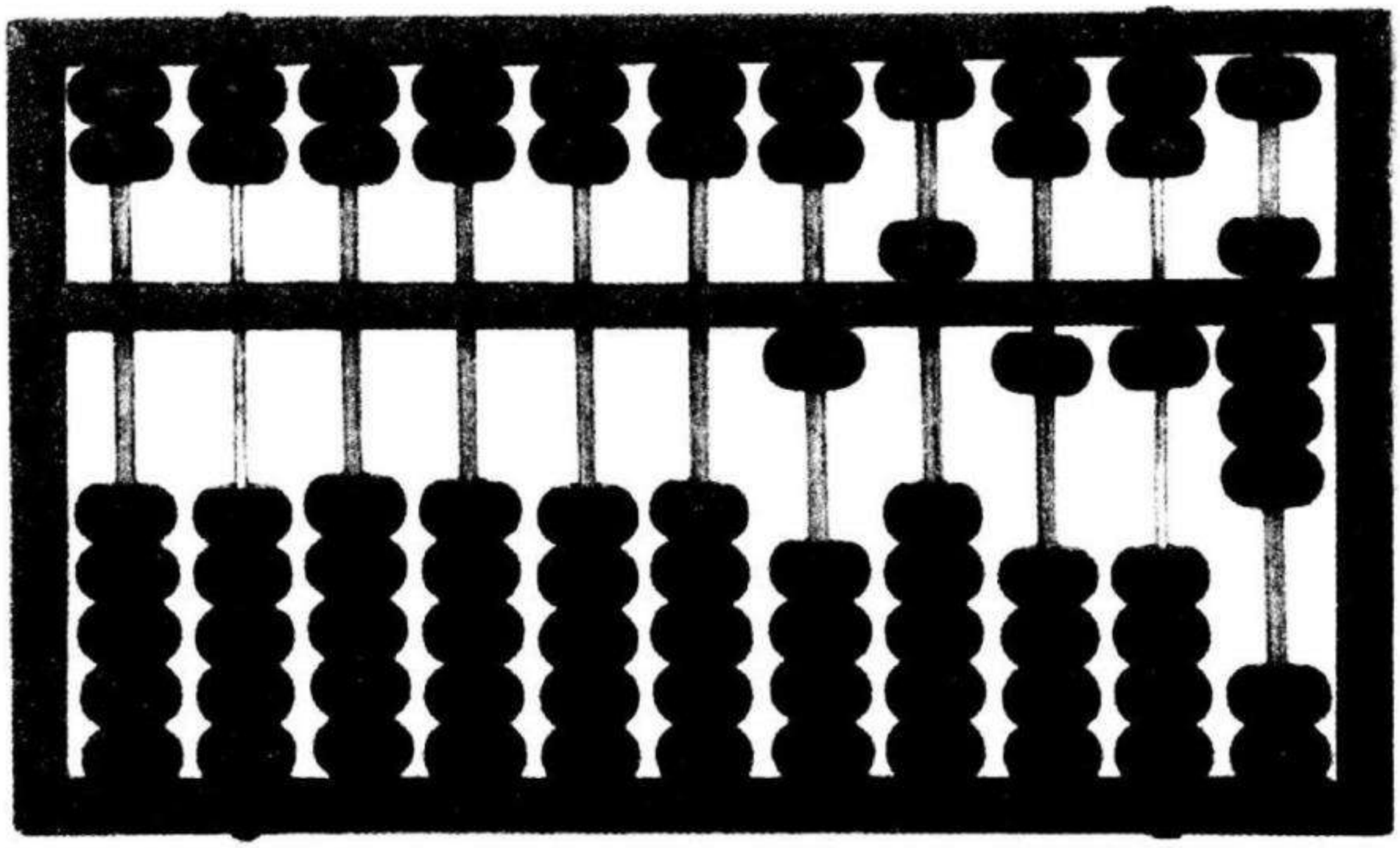


Tất cả đã thay đổi với việc phát minh ra cách đếm theo vị trí. Thay vì các chữ số (hoặc ký hiệu) có giá trị không phụ thuộc vào vị trí của chúng trong cách viết một số, mỗi chữ số bây giờ được gán cho một giá trị không phải là bất biến, mà thay đổi tùy theo vị trí của nó trong con số đó. Trong sơ đồ này, vị trí đóng vai trò rất quan trọng, nó mới đúng là đếm. Làm thế nào để gán giá trị cho mỗi chữ số phụ thuộc vào vị trí của nó trong con số? Quy tắc rất đơn giản: mỗi vị trí tương ứng với một lũy thừa nhất định của cơ số. Lấy ví dụ số 333 trong hệ đếm thập phân của chúng ta. Chữ số đầu tiên là 3 có giá trị là $3 \times 10^2 = 300$, chữ số thứ hai là $3 \times 10^1 = 30$ và chữ số cuối cùng $3 \times 10^0 = 3$ (vì $10^0 = 1$). Giá trị của số 333 là $300 + 30 + 3$, hay ba trăm ba mươi ba đơn vị. Tương tự, trong một hệ cơ số 5, chữ số đầu tiên sẽ là $3 \times 5^2 = 75$, chữ số thứ 2 là $3 \times 5^1 = 15$ và chữ số cuối cùng $3 \times 5^0 = 3$. Số 333 bây giờ sẽ có giá trị là chín mươi ba đơn vị. Trong một hệ đếm theo vị trí, không cần thiết phải có các biểu tượng khác nhau biểu diễn hàng chục, hàng trăm, hàng ngàn, v.v..., vì vị trí của biểu tượng khi viết số đã có chức năng này (nếu người Ai Cập biết nguyên tắc vị trí, họ sẽ không cần phải vẽ hình quai để chỉ hàng chục hoặc một bông hoa sen để mô tả hàng ngàn), mà chỉ cần tới những chữ số hoặc biểu tượng biểu diễn các chữ số dưới 10.

Chính cách đếm theo vị trí sẽ tạo ra số 0. Tại sao lại như thế? Cần phải hiểu rằng trước khi phát minh ra số 0, việc viết các số trong những hệ đếm đang tồn tại, nói chung không tạo điều kiện thuận lợi cho việc tính toán. Bàn tính (xem

hình) hay quipu (dây thắt nút của người Inca vào khoảng thế kỷ 18) lại giúp ích rất nhiều cho con người trong tính toán. Nguyên tắc vị trí đã được sử dụng trong các công cụ tính toán khác nhau này cho phép thực hiện các phép tính sơ cấp như cộng, trừ, nhân hoặc chia. Để chuyển dạng biểu diễn một số trên bàn tính sang dạng viết, chỉ cần xóa các cột hay thanh dọc của bàn tính và thay thế các hạt, nút thắt và các đối tượng khác xâu trong thanh dọc hoặc đóng trong các cột bằng các ký hiệu viết. Nhưng một câu hỏi được đặt ra là: làm thế nào để biểu diễn một chỗ trống trong một cột hoặc sự vắng mặt của một hạt trên thanh dọc? Bằng một biểu tượng chỉ sự trống rỗng hoặc sự vắng mặt: đó chính là số 0. Số này nhất thiết không thể thiếu với bất kỳ hệ đếm theo vị trí nào. Hãy xét ví dụ số 2016. Nếu không có số 0, làm thế nào chỉ ra hàng trăm là không "tính", và chữ số 2 ở trước số 0 là hàng ngàn và số 1 ở sau là hàng chục?

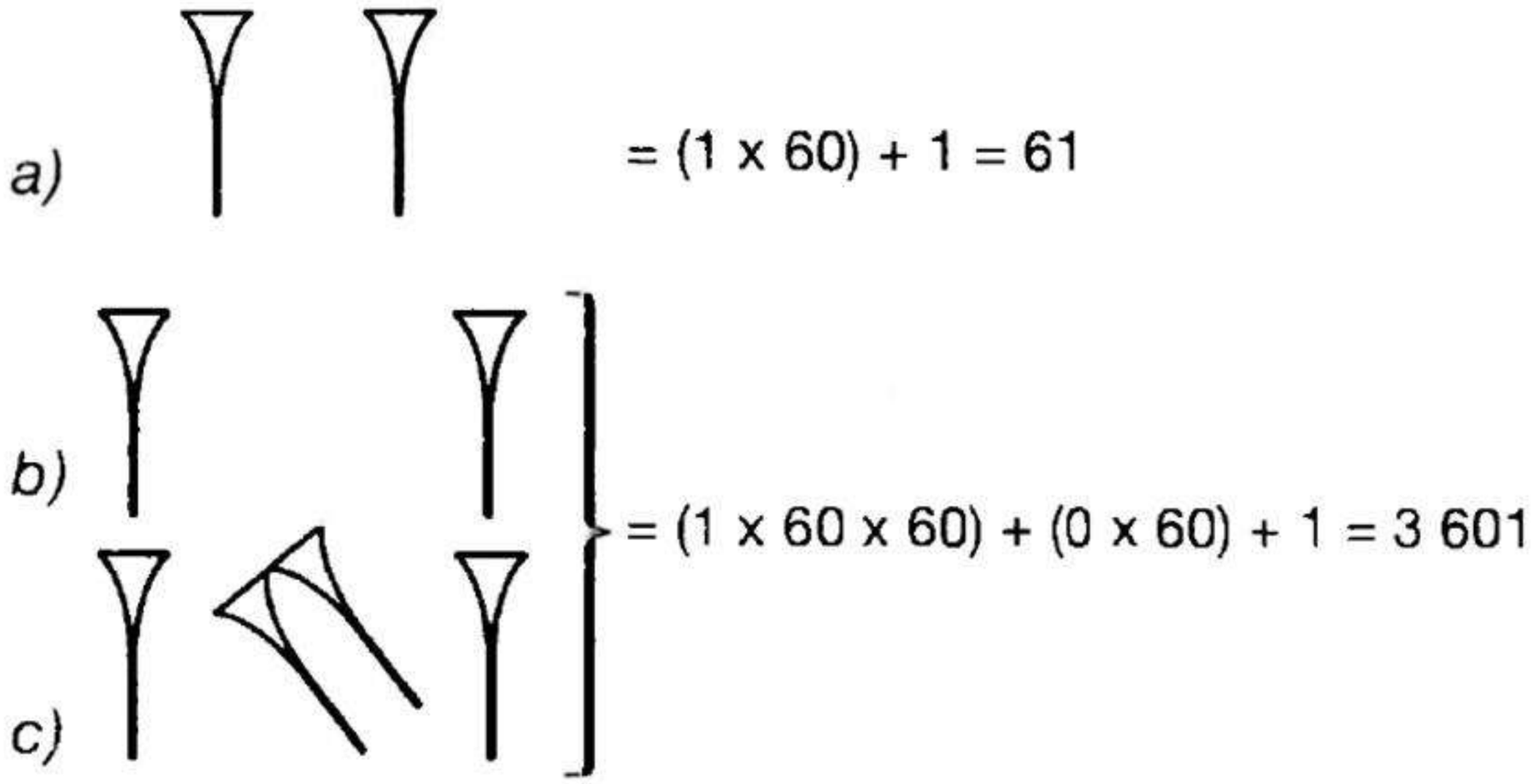
Trong lịch sử toán học có ba số không. Số đầu tiên ra đời vào khoảng năm 300 trước CN bởi người Babylon. Họ sử dụng một hệ đếm theo cơ số 60 và biểu diễn các chữ số tương tự người Sumer. Chẳng hạn, một cái đinh biểu diễn đơn vị và hình chữ V xoay ngang là hàng chục. Nhưng người Babylon nhận ra rằng nếu không có một biểu tượng biểu diễn số không, thì kiểu biểu diễn số này có thể dẫn đến sự nhầm lẫn trong việc đọc các con số. Ví dụ, hai cái đinh thẳng đứng liên tiếp nhau biểu diễn số 61 ($1 \times 60 + 1$). Tuy nhiên, số 3601 cũng được biểu diễn bởi hai cái đinh dọc, cách nhau bằng một không gian lớn hơn so với trường hợp của 61 để



Bàn tính (ở đây là một bàn tính Trung Quốc) cho phép bạn thực hiện các phép tính số học sơ cấp như cộng, trừ, nhân hoặc chia. Việc tính toán được thực hiện bằng cách di chuyển các hạt trên các thanh song song, đòi hỏi nhiều sự khéo léo.

chỉ ra rằng số hàng chục là không có ($60 \times 60 \times 1 + 60 \times 0 + 1 = 3601$). Đánh giá độ lớn của khoảng ngăn cách mang nhiều tính chủ quan và có khả năng gây nhầm lẫn, nên người Babylon đã đưa vào một dấu hiệu phân cách, nghĩa là "zero" trong cách viết các số. Số không này được biểu diễn bằng một cặp đinh in nghiêng. Khi đó sự nhầm lẫn đã được loại bỏ: hai cái đinh thẳng đứng liên tiếp biểu diễn số 61, trong khi hai cái đinh thẳng đứng ngăn cách bởi một cặp đinh nghiêng biểu diễn số 3601.

Số không thứ hai bước lên sân khấu là của người Maya. Nó xuất hiện vào thiên niên kỷ đầu tiên của chúng ta (500-925).



Số không của người Babylon được biểu diễn
bởi một cặp đinh nghiêng.

Sử dụng hệ đếm cơ số 20, người Maya cũng cần tới một dấu hiệu phân cách, trong trường hợp này là hình con sò, để loại bỏ mọi nhầm lẫn trong việc viết các con số. Nhưng số không của người Babylon và người Maya chủ yếu đóng vai trò đánh dấu các vị trí rỗng trong khi viết các con số. Chúng chưa bao giờ được coi là một con số độc lập. Chúng không có sự tồn tại thực sự và là vô nghĩa. Chúng chỉ có nghĩa khi có các ký hiệu đứng trước hoặc sau chúng.

Người cầm tiếp bó đuốc trong cuộc thi chạy tiếp sức này là các nhà toán học Ấn Độ. Lấy cảm hứng từ hệ đếm theo vị trí và số không của người Babylon mà họ đã học được trong cuộc xâm lược Ấn Độ của Alexander Đại đế và đội quân của ông ta vào thế kỷ 4 trước CN, họ đã cho số không tất cả các thuộc tính của một con số thực thụ và làm cho nó hiện ra trong toàn bộ sự vinh quang của nó. Đây chính là số không

Số không của người Maya. Các dạng khác nhau của nó được biểu diễn bằng các nét chạm chìm trên vỏ sò.

mà chúng ta vẫn sử dụng ngày nay. Từ *sunya* (trống không) xuất hiện lần đầu tiên vào năm 458 trong một chuyên luận về vũ trụ học của Ấn Độ viết bằng tiếng Phạn, có tên là *Lokavibhaga*, nghĩa là "Các thành phần của vũ trụ". Chuyên luận này là tài liệu cổ xưa nhất được biết đến trong đó xuất hiện một con số được viết theo nguyên tắc đếm theo vị trí. Đó là số 14 236 713 theo cách viết của chúng ta ngày hôm nay (trên thực tế, trong văn bản, các chữ số được ghi hoàn toàn bằng chữ, từ phải sang trái: "ba, một, bảy, sáu, ba, hai, bốn, một"). Những chữ số từ 1 đến 9 đã được phát minh ở Ấn Độ trước CN. Với việc bổ sung số 0 vào thế kỷ 5 và sử dụng cơ số thập phân, hệ đếm theo vị trí của Ấn Độ đã vươn đến một giai đoạn quyết định mới. Từ nay, mười con số quen thuộc với chúng ta, như các ngón tay của cả hai bàn tay, đủ để biểu diễn tất cả các số trên thế giới. Khả năng biểu diễn của hệ này là không giới hạn. Các ký hiệu được

vẽ để biểu diễn mười con số đã loại bỏ hoàn toàn khả năng gây nhầm lẫn. Trên thực tế, 2 hay 3, hoặc 4 không phải là sự nhóm lại của 1 như trong ba hệ đếm khác theo vị trí ở trên. Đặc tính này đã trao cho mỗi ký hiệu một sự độc lập hoàn toàn và làm cho mỗi lắp ghép các chữ số tương ứng với một và chỉ một con số, và ngược lại. Cách viết các chữ số như thế này đã thiết lập một cách tự động mối liên hệ giữa kích thước của một số với chiều dài tên của số đó. Điều này phù hợp với trực giác của chúng ta: biểu diễn của số càng dài thì số đó càng lớn. Ví dụ, số 1005 lớn hơn và dài hơn số 18. Điều này hoàn toàn không đúng với trường hợp các số La Mã, ví dụ, số 1005 được viết là MV (hai ký hiệu) trong khi 18 được viết là XVIII (năm ký hiệu).

Như có phép thần, hệ đếm theo vị trí tuyệt vời này, cùng với số 0 đưa ra bởi các thiên tài toán học Ấn Độ, đã xóa bỏ khoảng cách giữa viết và tính toán. Không cần phải sử dụng bàn tính hay dây thắt nút nữa. Cách tính toán viết phát sinh từ hệ thống này có thể thực hiện các tính toán phức tạp nhất chỉ với một cây bút và một tờ giấy cói! Những phẩm chất phi thường này đã làm cho hệ đếm Ấn Độ giờ đây trở nên phổ biến.

Nỗi sợ hãi zero và vô hạn

Tuy nhiên, một câu hỏi lại được đặt ra: tại sao số không lại được sinh ra ở Ấn Độ chứ không phải ở phương Tây? Trong giai đoạn từ thế kỷ 6 trước CN tới thế kỷ 5, người Hy

Lạp vẫn có những bước tiến lớn trong lĩnh vực toán học. Đặc biệt, họ đã đặt nền tảng đầu tiên cho lý thuyết số. Thế mà tại sao họ lại không đi tới số không? Câu trả lời có lẽ nằm trong nỗi sợ hãi siêu hình đối với con số này. Đối với các nhà toán học Hy Lạp, ngay ý tưởng về số không đã bị ghét cay ghét đắng, bởi vì làm thế nào "không có gì" lại có thể là "cái gì đó" cơ chứ? Đầu tiên, số không khơi dậy trong họ ý tưởng về sự khởi đầu của vũ trụ, tức là sự trống rỗng và hỗn độn nguyên thủy, và điều này đã gây ra nỗi khiếp sợ. Nhưng đặc biệt là các tính chất toán học của số không với họ dường như rất kỳ lạ vì chúng rất khác so với bất kỳ số nào khác. Cộng một số (khác 0) với chính nó, số đó sẽ thay đổi. Ví dụ, 2 + 2 = 4 và 3 + 3 = 6. Nhưng cộng số không với chính nó, bạn sẽ luôn nhận được số không. Điều này đi ngược lại tiên đề của Archimedes (khoảng 287-212 trước CN) nói rằng nếu bạn cộng một số với chính nó nhiều lần, bạn có thể nhận được một số lớn tùy ý. Ngoài ra, số không kiên quyết từ chối làm thay đổi bất kỳ số nào, dù là để số đó tăng lên hoặc giảm đi: cộng hoặc trừ số không với bất kỳ số nào bạn sẽ nhận được chính xác chính số đó.

Các thuộc tính mô tả ở trên có thể dẫn chúng ta đến ý nghĩ rằng số không là bất lực, nó không có bất kỳ nội dung gì. Tuy nhiên, khi dùng nó trong các phép toán đơn giản nhất, như nhân và chia chẳng hạn, nó sẽ làm đảo lộn tất cả những định kiến của chúng ta. Chẳng hạn, nhân bất kỳ số nào với số không, bạn sẽ luôn nhận được số không. Tất cả số đều được quy giản thành một số duy nhất: số không. Phép tính ngược lại, phép

chia cho số không thậm chí còn kinh hoàng hơn vì nó dẫn tới... vô cùng. Ngược lại, chia bất kỳ số nào cho vô cùng, bạn sẽ nhận được số không. Như chúng ta đã thấy, giống với cặp đôi Âm-Dương, số không và vô hạn gắn bó rất chặt chẽ với nhau.

Nỗi sợ số không của người Hy Lạp một phần gắn với nỗi hoảng sợ cái vô hạn. Sự nghi hoặc của họ về vấn đề này rất mãnh liệt bởi vì, như số không, cái vô hạn cũng vô tư coi khinh tất cả các quy tắc thông thường của số học: bỏ đi một đại lượng vô hạn từ một đại lượng vô hạn khác, kết quả nhận được không phải là một số nhỏ hơn mà vẫn là vô hạn. Lấy ví dụ như dãy vô hạn các số nguyên 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6... Bỏ đi tất cả các số chẵn 0, 2, 4, 6... là dãy vô hạn, bạn sẽ còn lại tất cả số lẻ 1, 3, 5..., và nó vẫn là một dãy vô hạn[1]!

Nhà toán học Hy Lạp Zeno xứ Elea (495-435 trước CN) kiên trì đắm đuối với những nghịch lý về vô hạn. Là một đệ tử của triết gia Parmenides (khoảng 515- 440 trước CN), người phủ định mọi ý niệm của sự thay đổi (theo trường phái này, thế giới đã, đang và sẽ luôn là như thế), Zeno đã cố gắng để chứng minh mệnh đề này theo bốn mươi cách khác nhau, trong đó có hai cách được gọi là "nghịch lý Zeno", đã sống sót tới ngày nay. Chúng dựa trên những bí ẩn của cái vô hạn. Trong nghịch lý đầu tiên của mình, Zeno tự đề xuất sẽ chứng minh rằng chuyển động là không thể. Ông tưởng tượng một vận động viên chạy từ điểm này đến điểm khác và phân tích

---

[1] Để có thêm chi tiết về các tính chất toán học của vô hạn, độc giả có thể xem cuốn *Désir d'infini* (Khát vọng tới cái vô hạn) của cùng tác giả.

chuyển động của người này một cách chi tiết: người này đầu tiên phải đi hết nửa khoảng cách giữa hai điểm, sau đó một nửa khoảng cách còn lại, sau đó lại một nửa khoảng cách còn lại, và cứ như thế đến vô cùng. Bởi vì vận động viên phải thực hiện một số vô hạn các bước, nên Zeno kết luận rằng người đó không bao giờ có thể tới được đích của mình và rằng chuyển động là không thể. Từ các luận cứ đơn giản có vẻ không thể bác bỏ được như vậy, Zeno đã đi đến một kết luận không có ý nghĩa. Chúng ta biết rằng vận động viên sẽ đến đích trong một thời gian hữu hạn. Bí ẩn của nghịch lý này sẽ được giải quyết rất lâu sau này, cùng với việc nghiên cứu các chuỗi vô hạn. Nếu thời gian để vận động viên đi hết mỗi khoảng cách thêm trở nên ngày càng ngắn và có xu hướng tiến tới 0, như trường hợp ở đây, thì thời gian cần thiết để tới đích không phải là vô hạn mà là hữu hạn. Người Hy Lạp, do không có khái niệm về số không, nên không thể tìm ra lời giải.

Nghịch lý thứ hai của Zeno dựng cảnh một cuộc chạy đua giữa lực sĩ Achilles và con rùa. Thoạt nhìn, những lập luận dường như cũng không kém phần thuyết phục. Zeno chứng minh rằng con rùa không bao giờ bị Achilles đuổi kịp, bởi Achilles trước tiên phải đến được vị trí mà con rùa vừa rời khỏi, vì vậy kẻ chạy chậm vẫn luôn có một khoảng cách nhất định so với người chạy nhanh hơn. Nhà văn Argentina Jorge Luis Borges đã mô tả nghịch lý này như sau: "Achilles chạy nhanh hơn rùa mười lần và cho con rùa dẫn trước mười mét. Achilles chạy được mười mét, con rùa chạy được một; Achilles chạy thêm một mét, con rùa đi thêm một decimet; Achilles

chạy được một decimet, con rùa đi được một centimet; Achilles đi qua centimet này, thì rùa lại đi được một milimet; Achilles chạy thêm một milimet, con rùa đi thêm một phần mười của milimet, và cứ như thế đến vô cùng mà Achilles không bao giờ có thể đuổi kịp..." Một lần nữa, lập luận dường như không thể bác bỏ đã dẫn đến một kết luận vô lý: Achilles không bao giờ chạy vượt qua con rùa! Nhưng một lần nữa, lời giải tới từ thực tế là khoảng cách liên tiếp mà Achilles chạy qua nhỏ dần và tiến tới 0, do đó quãng đường tổng cộng mà Achilles đi được là tổng của một số vô hạn các khoảng cách, nhưng tổng này không phải là vô hạn mà là hữu hạn. Điều này khiến cho Achilles có thể bắt kịp và vượt qua con rùa trong một khoảng thời gian hữu hạn.

Những nghịch lý này dường như trái với lẽ phải thông thường và chưa được người Hy Lạp giải quyết đã gieo vào tâm trí họ nỗi lo âu và nghi hoặc đối với cái vô hạn và gã tiểu đồng của nó là số không. Với Aristotle (384-322 trước CN), bằng mọi giá phải tránh xa chúng. Những thực thể dường như thách thức lý trí và logic này chỉ mang tới những rủi ro gieo rắc hoang mang trong dân chúng và gây ra những bất ổn xã hội. Uy tín tư tưởng của Aristotle lớn tới mức việc xua đuổi cái vô hạn và số không đã được chấp nhận vô điều kiện ở phương Tây trong suốt hai mươi thế kỷ sau đó. Và số không không thể có bất kỳ cơ hội nào để xuất hiện ở đó.

Nhưng ở phương Đông lại không phải như thế. Trong khi các khái niệm trống rỗng hay chân không và hư vô gây ngờ

vực và sợ hãi ở phương Tây[1], chúng lại được chào đón với vòng tay rộng mở bởi nền văn minh Ấn Độ. Thực tế, sự trống rỗng đóng một vai trò quan trọng trong Hindu giáo. Thần Shiva đồng thời là đấng sáng thế và cũng là kẻ phá hủy thế

Vũ điệu thần Shiva. Shiva nhảy múa trên một hình dạng phủ phục đại diện cho sự bất tri, được bao quanh bởi một quầng lửa (trực giác gần với lý thuyết Big Bang theo đó vũ trụ bắt đầu với một trạng thái cực kỳ nóng) nổi lên từ một đóa sen, biểu tượng của tri thức.

---

[1] Nỗi sợ hãi số không vẫn còn tồn tại ngày nay ở phương Tây. Ví dụ, năm 0 không tồn tại trong lịch của chúng ta. Trong thang máy, tầng 0 thường được thay thế bằng tầng trệt. Ở ngưỡng cửa năm 2000 đã có một nỗi sợ hãi phi lý của số không: số này được cho là sẽ phá vỡ hệ thống máy tính của chúng ta và gây ra thảm họa toàn cầu.

giới, một trong bốn tay cầm một cái trống nhỏ tượng trưng cho âm nhạc sáng tạo, và một tay cầm lưỡi lửa cho thấy trước cái chết sắp tới của vũ trụ (xem hình). Nhưng Shiva cũng đại diện cho sự trống rỗng tối thượng đã sinh ra vũ trụ. Bởi vì tư tưởng Ấn Độ chấp nhận sự trống rỗng, nên số không đã ra đời dưới dạng huy hoàng nhất của nó ở Ấn Độ cũng là điều thật tự nhiên.

Số không Ấn Độ chinh phục thế giới

Hai thế kỷ tiếp theo sau khi người Ấn Độ phát minh ra hệ đếm theo vị trí có cả số không, đã xảy ra sự suy yếu và sụp đổ của đế chế La Mã, đồng thời với sự lớn mạnh của đế chế Ả Rập. Ngay từ năm 751, đế quốc Ả Rập đã trải dài về phía Tây tới tận Tây Ban Nha và về phía Đông tới Ấn Độ. Vào năm 773, một phái đoàn Ấn Độ đã đệ trình tới khalifa của Bagdad một công trình quý giá của Ấn Độ về tính toán và các con số. Đại thư viện mà nhà vua ở đây lập ra vào thế kỷ 9, Ngôi nhà của trí tuệ, đã trở thành trung tâm tri thức lớn của phương Đông. Chính tại đó, trong những thập niên đầu của thế kỷ này, nhà toán học Ả Rập Muhammad ibn Musa al-Khuwarizmi (khoảng 780-850) đã viết cuốn sách nổi tiếng *Sách về phép cộng và trừ theo cách tính của người Ấn Độ*, trong đó ông giải thích cách thức sử dụng hệ đếm Ấn Độ với số không và đưa ra các phương pháp để người đọc có thể làm các phép tính (chẳng hạn phép nhân và phép chia) một cách nhanh chóng. Cuốn sách này đã đặc biệt góp phần phổ biến

hệ đếm Ấn Độ trong thế giới Hồi giáo. Không phải các nhà bác học Ả Rập không biết đến các tư tưởng của Aristotle và ác cảm của ông với cái vô hạn và chân không, nhưng họ không ngần ngại chấp nhận khái niệm số không của người Ấn Độ như là một biểu hiện của cái Không.

Nhưng phương Tây, dưới sự chi phối của tư tưởng Aristotle, lại rất chậm chạp. Ba thế kỷ trôi qua trước khi bản dịch đầu tiên sang tiếng Latin của cuốn sách của Al-Khuwarizmi xuất hiện. Được tái dịch rất nhiều lần sau đó, cuốn sách này đã đóng một vai trò quan trọng trong việc truyền bá tri thức tính toán của người Ấn Độ ở phương Tây Thiên Chúa giáo. Hệ đếm của người Ấn đã truyền lan như đám cháy rừng qua Tây Ban Nha, Anh quốc và phần còn lại của châu Âu bất chấp sự ngăn cản của Giáo hội, vẫn chịu sự thống trị của tư tưởng Aristotle. Nhưng các thành trì của Aristotle bắt đầu rạn vỡ một cách nghiêm trọng dưới các cuộc tấn công không ngừng. Vào năm 1277, Tổng giám mục của Paris là Estienne Tempier quyết định loại bỏ một số giáo điều Aristotle mâu thuẫn trực tiếp với ý tưởng một Chúa Trời vạn năng. Đặc biệt, việc cấm cái Không đã bị bãi bỏ: Chúa có thể tùy thích tạo ra cái Không, ngài không bận tâm gì tới sự cấm đoán của Aristotle hết. Nhưng sự ngăn cản của Giáo hội vẫn tiếp tục kéo dài vài thế kỷ nữa. Cho tới tận năm 1543, cuộc cách mạng Copernicus đã xóa bỏ toàn bộ tư tưởng vũ trụ học của Aristotle. Nhưng dẫu sao thì, cuốn sách của Al-Khuwarizmi ở phương Tây đã có tác động mạnh mẽ tới mức các phương pháp tính được mô tả bởi nhà toán học người Ả Rập này đã được gọi là "algorithm", theo

từ *algorismus* là từ Latin hóa tên của ông. Nói một cách tổng quát hơn, từ "algorithm" ngày nay mô tả một chuỗi hữu hạn các lệnh cho phép giải một bài toán.

Xuất phát từ Trung Đông, các chữ số Ấn Độ đã lan rộng khắp đế chế Ả Rập rồi tới bán đảo Iberia. Các thương nhân và ngân hàng châu Âu cũng rất vui mừng khi phát hiện ra hệ thống này, họ bị mê hoặc bởi sự dễ dàng trong việc sử dụng và thực hiện các phép tính, và sung sướng khi có thể vứt bỏ bàn tính và các công cụ khác. Mặc dù ban đầu các cơ quan hành chính khá ngần ngại (như thành phố Florentina ở Italy đã cấm sử dụng chữ số Ả Rập vào năm 1299 với lý do số 0 quá dễ dàng bị sửa thành số 6, bằng cách vẽ thêm vào 1 nét), nhưng các lý lẽ về lợi thế thương mại mà các thương gia đưa ra cuối cùng đã chiến thắng[1]. Hệ đếm Ấn Độ cùng với số 0 đã được thiết lập ở châu Âu và ngày nay nó được chấp nhận một cách không có ngoại lệ ở tất cả các quốc gia trên Trái Đất.

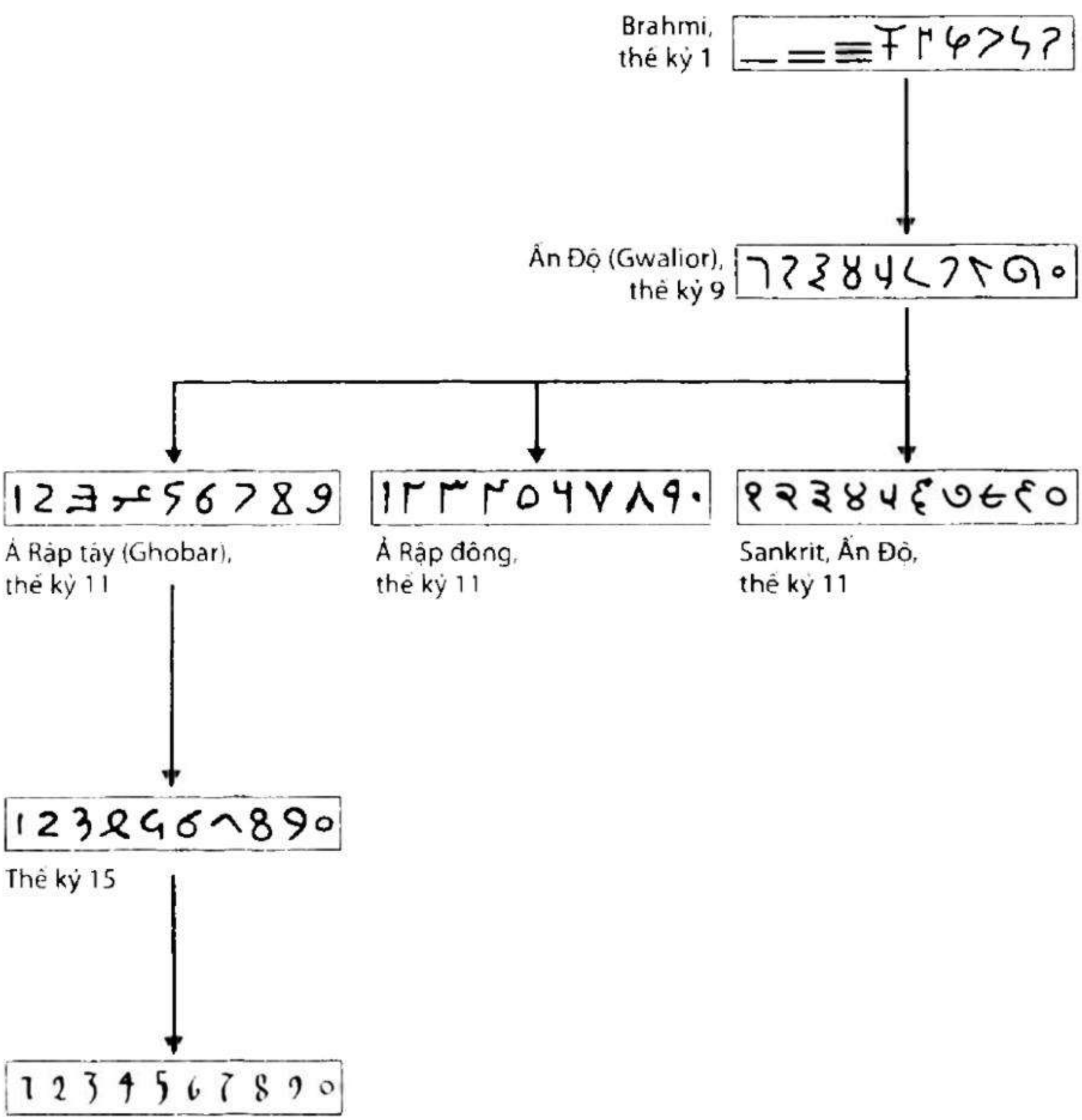
Cần biết rằng cách viết các chữ số đã tiến hóa trong cuộc hành trình dài theo không gian và thời gian (khoảng 8 thế kỷ để đi từ Ấn Độ tới Tây Ban Nha). Hình dạng của chúng cũng đã thay đổi so với ban đầu. Cách viết các chữ số mà ta sử dụng hiện nay thực ra không phải tới từ Ấn Độ hay phương Đông Ả Rập mà tới từ Tây Ban Nha, do người Moor. Chúng được biết đến dưới cái tên "chữ số *ghobar*" (xem hình).

Theo thời gian, nguồn gốc Ấn của hệ đếm có số không đã

---

1 Charles Seife, *Zero. The Biography of a Dangerous Idea* (Số không. Tiểu sử của một ý tưởng nguy hiểm)

phai mờ trong trí nhớ của mọi người. Các chữ số Ấn Độ dần dần trở thành cái gọi là chữ số Ả Rập và số không được xem là một sáng kiến Ả Rập. Thế nhưng cần phải trả lại cho người Ấn những gì là của họ: một hệ đếm theo vị trí tuyệt vời chỉ dựa trên 10 chữ số: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, có thể biểu diễn mọi con số, điều này đã cho phép xóa bỏ khoảng cách giữa cách viết và tính toán.



Sự tiến hóa cách viết các chữ số Ấn Độ theo thời gian

II.

Nỗi sợ hãi chân không

Vũ trụ thần thoại và vật chất nguyên thủy

Khái niệm hư không hay chân không đương nhiên sẽ xuất hiện ngay khi ta đặt câu hỏi về nguồn gốc của vũ trụ. "Vũ trụ từ đâu tới? Nó bắt đầu thế nào? Có cái gì trước khi vũ trụ sinh ra không? Hư không liệu có phải là trạng thái trước khi vũ trụ được sinh ra?" Các câu hỏi này đã là mối bận tâm của tất cả các nền văn hóa và văn minh qua các thời đại, bởi vì hiểu được nguồn gốc của vũ trụ chính là hiểu được nguồn gốc của chính chúng ta.

Cách đây khoảng mười ngàn năm, con người sống trong vũ trụ thần thoại trong đó mọi hiện tượng tự nhiên, kể cả sự sáng tạo vũ trụ, đều là kết quả hành động của các vị thần, tùy theo sự yêu hay ghét của họ. Tự nhiên giống như một sân khấu múa rối do các vị thần toàn năng điều khiển, để từ hỗn mang nguyên thủy trật tự có thể xuất hiện. Các thần thoại khác nhau về sáng thế đã được đưa ra để giải thích sự ra đời của thế giới. Trong đa số các câu chuyện thần thoại

xuất hiện ở phương Tây, vũ trụ không chuyển từ trạng thái không tồn tại sang tồn tại. Hay nói một cách khác, nó không hình thành từ hư vô mà từ một môi cảnh đã tồn tại từ trước. Chẳng hạn, theo thần thoại Babylon về sáng thế như được kể trong *Enuma Elish* (2000 – 3000 trước CN), nước là vật chất nguyên thủy khởi nguồn của vạn vật. Qua sự kết hợp của các sinh vật ban đầu Apsu, đại diện cho nước ngọt, và Tiamat, đại diện cho nước mặn, đã sinh ra thần bầu trời Anu – ta có thể thấy rằng các thần thoại về sáng thế thường lấy cảm hứng từ địa lý của vùng nơi chúng được sinh ra, như trong câu chuyện trên thì đây chính là nơi nước ngọt gặp nước mặn của vịnh Ba Tư. Nước là vật chất nguyên thủy bởi vì nó sinh ra sự sống: các trầm tích lắng đọng bởi hai con sông Tigris và Euphrates trong vùng vịnh đem lại sự màu mỡ của đất đai và tạo điều kiện cho nông nghiệp phát triển. Trong thần thoại Ai Cập xuất hiện gần như vào cùng thời kỳ đó, nước cũng là vật chất nguyên thủy và là nguồn gốc của sự sống. Nước sông Nile và các đợt lũ hằng năm đã cho phép nông nghiệp và nền văn minh Ai Cập lấy đà vươn lên. Thần thoại của các nước Bắc Âu cũng không kém cạnh. Trong *Poetic Edda* (khoảng 1220), vũ trụ cũng không sinh ra từ hư vô. Hai vật chất nguyên thủy được đề cập tới: một là cái lạnh và băng giá, một là nóng và lửa. Sự gặp gỡ của hai vật chất nguyên thủy này sinh ra giọt nước và từ đó xuất hiện sự sống dưới dạng người khổng lồ Ymir và con bò Audhumla (xem hình), và chúng sẽ sinh ra toàn bộ các sinh vật sống khác.

Sự ra đời của tư duy khoa học

Tư duy khoa học về hư vô và cái Không, cũng giống như nhiều chủ đề nghiên cứu khác, đã xuất hiện với người Hy Lạp. Ở giữa vũ trụ thần thoại, vào khoảng thế kỷ 6 trước CN, dọc theo bờ biển Tiểu Á ở vùng Ionia, đã xuất hiện "sự thần kỳ Hy Lạp" kéo dài gần tám thế kỷ. Một nhóm người kiệt xuất đã thành công trong việc gieo mầm cho một vũ trụ mới và dẫn tới sự cáo chung của vũ trụ thần thoại: đó là vũ trụ khoa học giống như của chúng ta ngày nay. Người Hy Lạp đã có một ý tưởng cách mạng cho rằng tự nhiên được chi phối bởi các định luật, và các luật này không phải dành riêng cho các vị thần mà lý trí của con người cũng có thể hiểu được. Không gì

thoát khỏi con mắt tinh tường của họ. Họ đặc biệt quan tâm tới câu hỏi về nguồn gốc của vũ trụ, và trong khi suy ngẫm về vũ trụ, họ đã phải đối mặt với khái niệm chân không. Với đại đa số, ý tưởng vũ trụ có thể sinh ra từ hư vô và có thể chuyển từ trạng thái không tồn tại sang trạng thái tồn tại là không thể chấp nhận được. Giống như trong các câu chuyện sáng thế trước đó, người Hy Lạp nghĩ rằng cần phải tồn tại một vật chất nguyên thủy để từ đó vũ trụ xuất hiện. Vật chất nguyên thủy này ban đầu là hỗn độn, và thế giới tự nhiên chỉ xuất hiện khi trật tự chiến thắng, Hỗn mang trở thành Vũ trụ[1].

Với nhà toán học và triết gia Thales (khoảng 625-546 trước CN), một trong những nhà tư tưởng tiền Socrates, vật chất nguyên thủy chính là nước, giống như trong những câu chuyện thần thoại, dưới các dạng vật lý khác nhau: lỏng, rắn hay khí. Vật chất nguyên thủy có nhiều dạng khác nhau với các nhà tư tưởng tiếp theo: với Anaximenes (khoảng 585-528 trước CN) chính là không khí; với Heraclitus (khoảng 544-480 trước CN) lại là lửa. Empedocles[2] (khoảng 490-430 trước CN) là người đầu tiên đưa ra ý tưởng vật chất nguyên thủy không chỉ là một mà bao gồm nhiều nguyên tố: đất, nước, lửa, không khí và một nguyên tố thứ năm tràn ngập toàn bộ

---

1 Theo tiếng Hy Lạp, *Kosmos* có nghĩa là "trật tự", "sự trang điểm"; từ "cosmetic" (mỹ phẩm) được xuất phát từ nghĩa thứ hai của *Kosmos*.

2 Empedocles cũng là một nhân vật rất đặc sắc. Truyền thuyết kể rằng do bị quyến rũ bởi ngọn lửa, ông đã kết thúc cuộc đời mình bằng cách nhảy vào miệng núi lửa Etna ở Sicily.

vũ trụ, một "tinh chất thứ năm" nhẹ hơn mọi vật chất đã biết. Sự có mặt của tinh chất thứ năm này (mà Aristotle sau này đặt tên là ether) là cần thiết để tránh cái chân không xuất hiện ở những nơi mà vật chất tạo bởi bốn nguyên tố còn lại không thể có mặt. Đây là lần đầu tiên người ta nhắc tới một chất vô hình được cho là có mặt khắp nơi trong vũ trụ. Khái niệm này sẽ thống trị tất cả các cuộc trao đổi khoa học về bản chất của không gian trong suốt 20 thế kỷ sau đó. Theo Empedocles, ngay cả vật chất cũng không thoát khỏi sự chi phối của ether: do vật chất là xốp, nên các khoảng không sẽ bị lấp đầy bởi chất nhẹ và huyền bí này. Sự xạ khí từ những lỗ hổng làm cho các vật thể hoặc hút nhau bởi tương tác gọi là Tình yêu hoặc đẩy nhau bởi tương tác gọi là Ghét bỏ. Khái niệm tương tác này chính là tiền đề cho ý tưởng lực hút và lực đẩy được phát triển khoảng 2000 năm sau bởi nhà vật lý người Anh Isaac Newton.

Các nguyên tử chuyển động trong chân không vũ trụ

Chân không xuất hiện trong khoa học cùng với sự phát triển của nguyên tử luận. Leucippus (khoảng 500 trước CN) không chỉ là người đầu tiên đưa ra ý tưởng rằng vật chất được tạo từ các đơn vị cơ bản không thể chia nhỏ hơn được nữa, gọi là "nguyên tử" (từ tiếng Hy Lạp *atomos*, nghĩa là không thể chia được)[1], mà còn đề xuất một cách nghiêm túc ý tưởng

---

[1] Ngày nay ta biết rằng các nguyên tử không phải là không thể chia nhỏ mà chúng được tạo thành từ các hạt cơ bản.

về một không gian trống rỗng, ở đó các nguyên tử có thể tiến triển. Theo ông, khoảng trống này là cần thiết để cho phép mọi biến đổi hay chuyển động có thể xảy ra. "Trừ phi có một khoảng trống nội tại, độc lập với các thứ khác, nếu không sẽ không thể có chuyển động và không thể phân biệt mọi thứ bởi vì không có gì chia cách chúng", ông nói. Triết gia nguyên tử luận này đã trao lại ngọn đuốc tiếp sức cho học trò của ông là Democritus (khoảng 460-370 trước CN), người kế thừa và phát triển ý tưởng về một vũ trụ có kích thước vô hạn, tạo bởi không gian trống rỗng, chứa các hạt đặc và không thể chia nhỏ được nữa, với các hình dạng và kích thước khác nhau, và luôn luôn chuyển động. Sau này nhà thơ La Mã Lucretius (khoảng 98-55 trước CN) người luôn ngợi ca và phổ biến thuyết nguyên tử, đã mô tả sự cần thiết của chân không trong tuyệt tác thi ca về vũ trụ *De rerum natura* (*Về bản chất sự vật*): "Như vậy, tồn tại một nơi bất khả xâm phạm, trống rỗng và không có gì. Nếu nó không tồn tại, mọi vật không có cách nào dịch chuyển; vì những thứ là chức năng của vật thể sẽ chống lại và cản trở, sẽ ở đó tác động lên mọi thứ mọi lúc; không gì có thể tiến lên được vì không có gì nhường chỗ... Nếu chân không không tồn tại, mọi vật không chỉ bị tước mất khả năng chuyển động không ngừng, mà chúng còn không có cách nào tồn tại được, bởi vật chất bị đông cứng và khắp nơi luôn ở trạng thái nghỉ. Hơn nữa, nếu các vật thể là đặc, như ta vốn nghĩ như thế, thì ta lại có thể thấy rằng chúng là một thể xốp vì các lý do sau. (...) Đồ ăn lan tỏa khắp cơ thể động vật. Cây cối lớn lên, chúng đơm hoa kết trái theo mùa bởi chất dinh

dưỡng khuếch tán khắp nơi từ chân rễ qua thân cây, rồi cành cây. Tiếng nói xuyên qua tường và bay xuyên qua các ngôi nhà kín cửa... Nếu như không có các khoảng không, qua đó mọi vật thể có thể đi qua, ta không có cách nào thấy được những điều trên xảy ra.[1]"

Các nhà nguyên tử luận không phải là những người duy nhất bảo vệ ý tưởng về một không gian trống rỗng. Vào thế kỷ 3 trước CN, phong trào khắc kỷ[2] đã xuất hiện. Những người khắc kỷ đề xuất một vũ trụ tắm trong một chất đàn hồi gọi là *pneuma*, tạo bởi không khí và lửa. Trái với các nhà nguyên tử luận, họ nghĩ rằng không có chân không giữa các thành tố khác nhau của thế giới, nhưng khái niệm chân không vẫn có mặt trong triết lý của họ: đúng là có tồn tại một chân không, chỉ có điều nó ở bên trên thế giới vật chất bị *pneuma* giữ lại, không thể lạc vào khoảng chân không ấy.

"Tự nhiên sợ chân không"

Khái niệm chân không do các nhà nguyên tử luận và những người khắc kỷ đưa ra, dù giống một cách đáng ngạc nhiên với phiên bản hiện đại, đã không được công nhận vì tiếng nói của họ nhanh chóng bị các ý tưởng có ảnh hưởng

---

1 Lucretius, *De rerum natura*

2 Được gọi như vậy vì các triết gia của trường phái này thường tập hợp dưới hàng hiên (tiếng Hy Lạp là *stoa*) ở quảng trường Athens. Vì thế người khắc kỷ còn được gọi là trường phái Hàng hiên.

lớn hơn rất nhiều của Platon (khoảng 428-348 trước CN) và nhất là học trò của ông, Aristotle (384-322 trước CN), át đi. Hai triết gia này đã phản đối rất mạnh mẽ, họ chống lại cái chân không của các nhà nguyên tử luận bằng cách tái sử dụng ý tưởng của Empedocles: không gian vũ trụ không phải là trống rỗng mà chứa đầy một chất không hình dạng là ether, cùng với bốn nguyên tố khác là đất, nước, không khí và lửa tạo nên vũ trụ. Mục tiêu của Aristotle là xác định, phân tích và sắp xếp mọi thành phần của thế giới thành các nhóm tối giản, vì thế cái ý tưởng chân không không thể xác định, phân loại và nhận biết bởi các giác quan là không thể chấp nhận được. Ông lập luận rằng chân không phải đồng đều và đối xứng, tức ý muốn nói rằng không tồn tại sự phân biệt trước và sau, trên và dưới, trái và phải. Chính sự thiếu vắng một hướng ưu tiên sẽ không thể có chuyển động bởi không có lý do gì một vật lại chuyển động theo một hướng chứ không phải một hướng khác. Như vậy vũ trụ sẽ không có chuyên động và đông cứng, một kết luận rõ ràng là không thể chấp nhận được. Và thậm chí cả khi chuyển động của một vật trong chân không là có thể đi nữa, cũng sẽ không có lực cản nào cản trở chuyển động của nó. Vật khi đó sẽ chuyển động vĩnh cửu, mà điều này thì khó có thể chấp nhận được. Ngày nay ta biết rằng đó là suy luận sai lầm. Thực tế, chuyển động của một vật thẳng đều, nếu nó không chịu tác động của lực hay lực cản nào, sẽ là vĩnh cửu. Đây chính là định luật chuyển động thứ nhất trong lý thuyết vạn vật hấp dẫn của nhà vật lý học người Anh Isaac Newton được công

bố năm 1687. Aristotle còn đưa ra một lý lẽ nữa: nếu vật có thể dừng lại, thì tại sao nó lại dừng tại vị trí này thay vì vị trí khác trong cái chân không hoàn toàn đồng nhất? Hơn nữa, nếu như chân không là "một cái gì đó" và khi ta đặt một vật vào trong nó thì như vậy sẽ có hai "cái gì đó" ở chính xác cùng một chỗ, và điều này cũng là không thể.

Vũ trụ của Aristotle là hữu hạn, có tâm là Trái Đất bất động và bị giới hạn bởi thiên cầu bên ngoài của các vì sao. Với ông, một không gian trống rỗng không thể tồn tại bên ngoài giới hạn của thế giới vật chất, như trường phái khắc kỷ đã đưa ra. Khi định nghĩa không gian trống rỗng như là "một nơi không chứa các vật thể nhưng có thể chứa một số trong chúng", ông lý luận rằng nếu không gian trống rỗng tồn tại, thì theo định nghĩa, nó có thể chứa các vật nằm ngoài giới hạn của vũ trụ, mà điều này là vô lý. Aristotle đã đúc kết thành nguyên lý kết luận rằng chân không không thể tồn tại, đó chính là nguyên lý *horror vacui* nghĩa là "tự nhiên sợ chân không".

Như vậy, đối với Aristotle, một số câu hỏi – tại sao thế giới tồn tại? Tại sao lại có cái gì đó thay vì không có gì cả? Chất không hình dạng mà theo ông tràn ngập khắp nơi trong vũ trụ ở đâu ra? – không hề được đặt ra. Trong tư tưởng của trường phái Aristotle, vũ trụ không được tạo ra: nó đã như thế và sẽ vĩnh viễn như thế. Câu hỏi về sự chuyển đổi từ không tồn tại sang tồn tại, từ hư vô thành tồn tại là không phù hợp. Ý tưởng của Aristotle về *horror vacui* sẽ còn thống trị mọi thảo luận khoa học về chân không trong suốt hai ngàn năm sau đó.

Thiên Chúa giáo và chân không

Mười lăm thế kỷ trôi qua với rất nhiều sự kiện. Sau khi Hy Lạp bị sáp nhập vào đế chế La Mã vào cuối thế kỷ 2 trước CN, tư tưởng Hy Lạp đã mất đi sự huy hoàng của nó. Người La Mã không quá hứng thú với các tư tưởng trừu tượng, họ không quan tâm gì đến vũ trụ học và đặc biệt là khái niệm chân không. Vào thế kỷ 5 và 6, đế chế La Mã sụp đổ sau những cuộc xâm chiếm triền miên của các tộc man hoang và tri thức Hy Lạp đã biến mất khỏi phương Tây. Ngọn đuốc khoa học được chuyển tới các khalifa của Bagdad, nơi mà vào giữa các năm 750 và 1000 đã cho dịch sang tiếng Ả Rập các tác phẩm lớn của Hy Lạp. Và ngay buổi bình minh của thế kỷ 11, châu Âu Thiên Chúa giáo đã tái phát hiện tư tưởng Hy Lạp nhờ vào Tây Ban Nha, nơi đã trở thành trung tâm trí tuệ lớn của thế giới Hồi giáo, và đã cho dịch các tác phẩm lớn của Hy Lạp từ tiếng Ả Rập sang tiếng Latin.

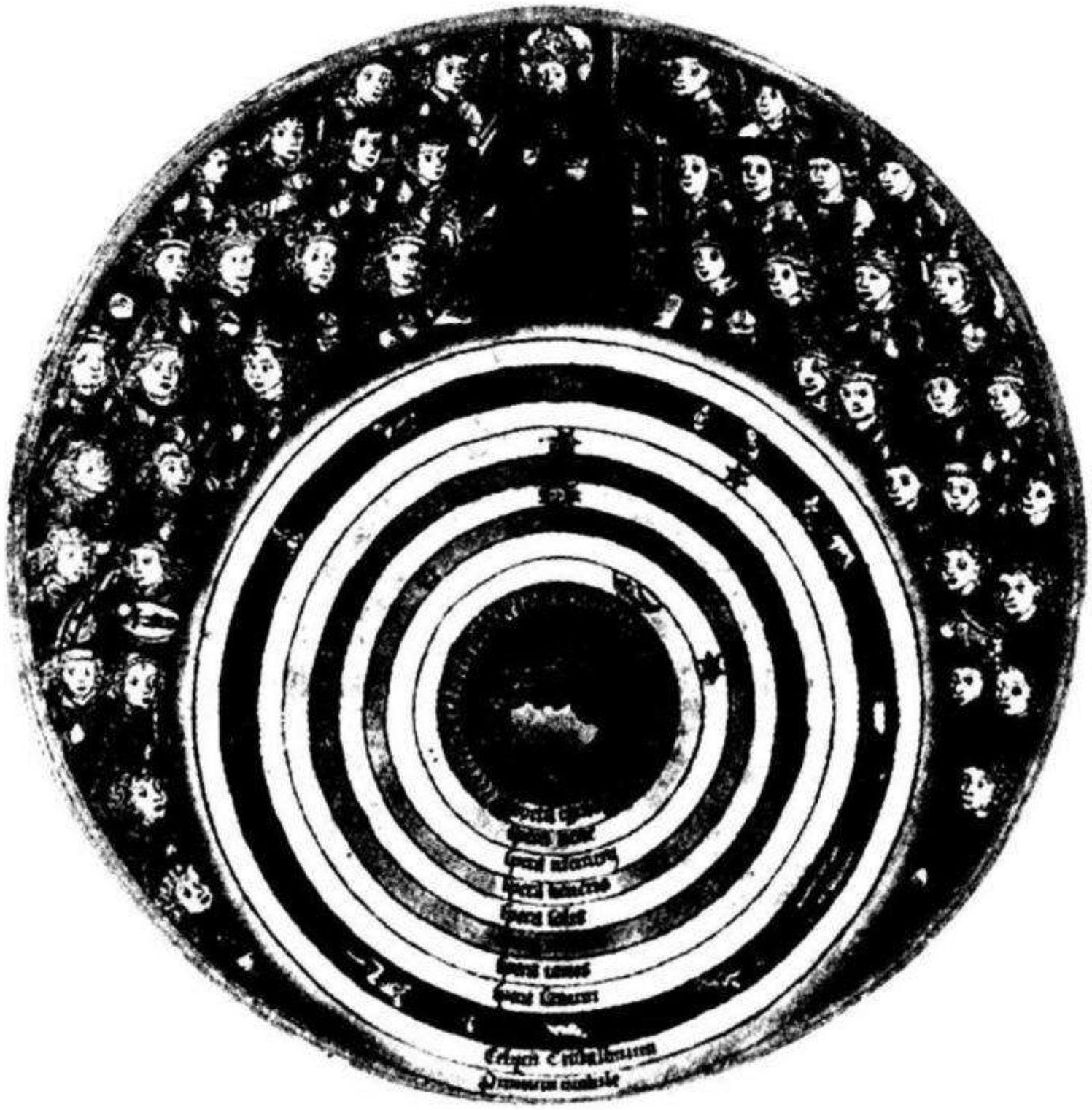
Trong thế giới trung cổ, tri thức bị giam giữ bởi Giáo hội, vì chỉ có các tu sĩ mới được tiếp xúc với các bản thảo được thu thập trong thư viện của các tu viện. Chính quan niệm của Aristotle về thế giới và đặc biệt sự chối bỏ tuyệt đối chân không đã khiến các nhà tu hành bối rối: làm thế nào để dung hòa sự bất tồn tại của chân không với các giáo điều Thiên Chúa giáo? Các nhà thần học Thiên Chúa giáo tranh luận về tính tất yếu của việc Chúa tạo ra thế giới "từ hư vô" (*ex nihilo* theo tiếng Latin), làm thế giới chuyển từ trạng thái không tồn tại sang tồn tại: "Lúc khởi đầu, Thiên Chúa tạo ra Trời và Đất" theo sách Sáng Thế. Ngay từ thế kỷ 5, thánh Augustine (354-

430) đã loại bỏ ý niệm của Aristotle về một chất không hình dạng tồn tại từ trước. Trong cuốn *Confessions* (*Lời xưng tội*) ông viết: "Tôi không thể tưởng tượng nổi một cái gì đó tồn tại mà không có hình dạng." Theo ông, sự sáng thế không đơn giản chỉ là việc xây dựng từ một vật liệu nguyên thủy đã có sẵn, mà còn hơn thế, là một sự kiện quan trọng hơn sự triển khai ở một thời điểm nào đó trong quá khứ của một thực tại đã tồn tại. Ông nghĩ rằng hư vô thực sự tồn tại, sự tồn tại của một vật rõ ràng đại diện cho trạng thái không có Chúa. Được đồng nhất với Quỷ, hư vô chính là hình thái cực hạn của tội lỗi và cái ác. Được định nghĩa như là phản đề của Chúa, hư vô là trạng thái mà những kẻ chống lại Chúa sẽ bị biến thành. Nhưng trao cho hư vô một chiều kích bản thể luận đặt ra một câu hỏi tế nhị: Vậy thì Chúa làm gì trước khi tạo ra thế giới? Thánh Augustine đã né tránh vấn đề này một cách rất khéo léo khi tuyên bố rằng Chúa đã tạo ra thời gian (và không gian) đồng thời cùng với thế giới, và như vậy câu hỏi Chúa làm gì trước khi tạo ra thế giới sẽ không có ý nghĩa nữa vì khái niệm "trước" đã trở nên vô nghĩa trước khi thời gian được tạo ra. Quan niệm này, như ta sẽ thấy, trùng hợp với quan niệm của vũ trụ học hiện đại. Theo lý thuyết Big Bang, thời gian và không gian được tạo ra đồng thời với vũ trụ.

Nhưng bất chấp các lý lẽ của thánh Augustine, ý tưởng của Aristotle cho rằng tự nhiên sợ chân không vẫn tiếp tục thắng thế và tập hợp được đa số các triết gia trong suốt thế kỷ 13 và 14. Tuy nhiên các ý kiến ngày càng đa dạng và mang nhiều sắc thái hơn. Tất nhiên, một số nhà tư tưởng vẫn tiếp

tục khẳng định theo Aristotle rằng sự tồn tại của chân không là bất khả, ngay cả trong một khoảng thời gian cực ngắn. Một số khác thừa nhận sự tồn tại của chân không nhưng vẫn nhấn mạnh đặc tính phù du của nó: mọi khoảng không sẽ rất nhanh chóng bị choán đầy bởi không khí hoặc chất nào đó khác, theo nguyên tắc *horror vacui*. Số khác nữa thì cho rằng thế giới vật chất không thể chứa chân không, nhưng chấp nhận ý tưởng của các nhà khắc kỷ cho rằng chân không tồn tại bên ngoài thế giới sự vật, Chúa, hiện diện ở khắp nơi, có mặt ở mọi điểm của khoảng không này. Thế nhưng cái chân không đó là hữu hạn hay vô hạn? Vào thế kỷ 13, tu sĩ dòng Dominic Thomas d'Aquin (1225-1274) đã kết hợp vũ trụ của Aristotle với Thiên Chúa giáo, trong đó Trái Đất vẫn là trung tâm của vạn vật. Mặt Trăng, Mặt Trời, các hành tinh, các ngôi sao đều quay xung quanh Trái Đất, và được khảm trên các tinh cầu. Có thêm một mặt cầu nữa ở ngoài những mặt cầu của các ngôi sao xuất phát từ ý tưởng của người Ả Rập: đó là mặt cầu sơ cấp, được Chúa ban cho chuyển động quay đều. Bên ngoài mặt cầu sơ cấp là vùng thuần khiết của các ngọn lửa vĩnh hằng gọi là "empyrea" (cõi trời) nơi Chúa đích thân hiện diện (hình bên). Trong vũ trụ của thánh Thomas d'Aquin, cõi trời cũng có một khoảng cách hữu hạn và vũ trụ là hữu hạn. Điều này gây ra vấn đề bởi vì theo Thiên Chúa giáo, Chúa là vô hạn và hiện diện mọi nơi. Giam hãm Ngài trong một vũ trụ hữu hạn và chỉ ở một nơi là cõi trời liệu có nghĩa là nghi ngờ quyền năng vô hạn của Ngài? Mặt khác, liệu con người có quá kiêu ngạo để nghĩ rằng mình là trung tâm của vũ trụ?

Tại sao Chúa, người có mặt khắp nơi lại không ở trung tâm đó của thế giới?



Một bức khắc thời Trung Cổ miêu tả Chúa ngự trị bằng xương bằng thịt ở cõi trời. Với sự trợ giúp của các thiên thần, Chúa giám sát công việc của thế giới. Các thiên thần, sống trên các mặt cầu hành tinh và mặt cầu Mặt trời, đích thực là những "thợ cơ khí của trời". Họ có trách nhiệm đẩy các mặt cầu hành tinh để làm quay chúng.

Đối với Estienne Tempier, giám mục của Paris vào thế kỷ 13, điều đó thật là quá đáng: các cuộc tranh luận như thế gây ra sự nghi ngờ trong tâm trí các nhà thần học về quyền lực tuyệt đối, sự toàn năng và hiện diện khắp nơi của Chúa.

Để hạn chế ảnh hưởng quá lớn của các ý tưởng của Aristotle mà ông nghĩ là tai hại, giám mục này, vào năm 1277, đã ban hành lệnh cấm hàng trăm bài báo về thần học và triết học tự nhiên với nỗ lực dung hòa các tư tưởng của Aristotle với giáo điều Thiên Chúa. Đặc biệt, một trong các bài báo bị cấm này bảo vệ luận đề cho rằng chân không không thể tồn tại. Đối với Tempier, quan điểm này là không thể chấp nhận được bởi vì Chúa có thể tạo ra mọi thứ, nên phủ định sự tồn tại của chân không chính là hạn chế quyền lực của Ngài. Nhưng quan điểm của Aristotle có sự sống rất dai dẳng. Sắc lệnh của giám mục Paris đã bị thu hồi vào năm 1325 và *horror vacui* đã quay trở lại, mạnh mẽ hơn bao giờ hết.

Vào thế kỷ 16, việc phát hiện lại bài thơ *De rerum natura* của Lucretius, nhà thơ lớn luôn ngợi ca và phổ biến nguyên tử luận một cách nồng nhiệt, đã làm tái xuất ý tưởng về không gian trống rỗng giữa các nguyên tử, đồng thời cũng phát động cuộc tấn công ý tưởng chối bỏ chân không của Aristotle. Trong bài thơ tuyệt vời này, Lucretius không chỉ ca ngợi chân không mà còn cả ý tưởng về đa thế giới nữa: "Thoạt đầu, không ở đâu, theo bất cứ hướng nào, không ở bên phải cũng không ở bên trái, không ở trên cũng không ở dưới, vũ trụ không có giới hạn; tôi đã chứng minh cho bạn điều đó, các bằng chứng cũng đã rõ ràng, điều đó hiển nhiên suy ra từ bản chất của chân không. Nếu như mọi vật trải ra trong một không gian tự do vô hạn, nếu như vô số các hạt mầm nhân lên vô hạn bay lượn khắp nơi và mọi lúc, thì liệu có thể tin rằng hành tinh và bầu trời của chúng ta là những thứ duy nhất được tạo ra và ở

ngoài kia chỉ có các nguyên tử nhàn rỗi?... Nếu cùng có một lực và cùng một tự nhiên tồn tại để tập hợp các nguyên tử ở mọi nơi và theo cùng trật tự như ở thế giới của chúng ta, thì phải chấp nhận rằng các vùng khác của không gian cũng có hành tinh, loài người và các động vật hoang dã của chúng[1]." Quan điểm khắc kỷ về một vũ trụ hữu hạn bao quanh bởi một khoảng không vô hạn, liên tục, bất biến và không thể chia nhỏ cũng lại tái hiện. Quan điểm này không có gì là quá độc đáo. Nhưng cái mới trong quan điểm về vũ trụ ở thế kỷ 16 và trong các thê kỷ tiếp theo chính là sự tách biệt dần giữa quan niệm về Chúa và khái niệm chân không. Chúa không còn gắn liền, không thể tách rời với bản chất của không gian vô hạn, và các tính chất của không gian trống rỗng không còn chỉ phụ thuộc vào các thuộc tính thần thánh.

Vào cuối thế kỷ 18, các lý lẽ để giải thích sự hiện diện khắp nơi của Chúa không còn đóng bất cứ vai trò nào trong việc diễn giải các tính chất của không gian vật lý. Người ta có thể bàn luận về nó mà không cần nhắc tới Chúa – nhà kiến trúc vĩ đại. Thực ra, các cuộc tranh luận thần học về Chúa, thay vì đề cập tới sự hiện diện khắp nơi như trước, đã dần chuyển sang tính siêu việt. Chúa không cần thiết phải hiện diện ở một nơi cụ thể trong không gian vô hạn mà các nhà vũ trụ học xem là sân khấu tự nhiên nơi diễn ra các sự kiện của thế giới vật chất hữu hạn. Các nhà vật lý đã có thể mô tả không gian này bằng các định luật vật lý qua ngôn ngữ toán học mà không cần tới

---

[1] Lucretius, *De rerum natura*

thần học. Chân không cuối cùng đã trở thành một chủ đề khoa học một cách đúng nghĩa.

Không khí không phải là không gian trống rỗng

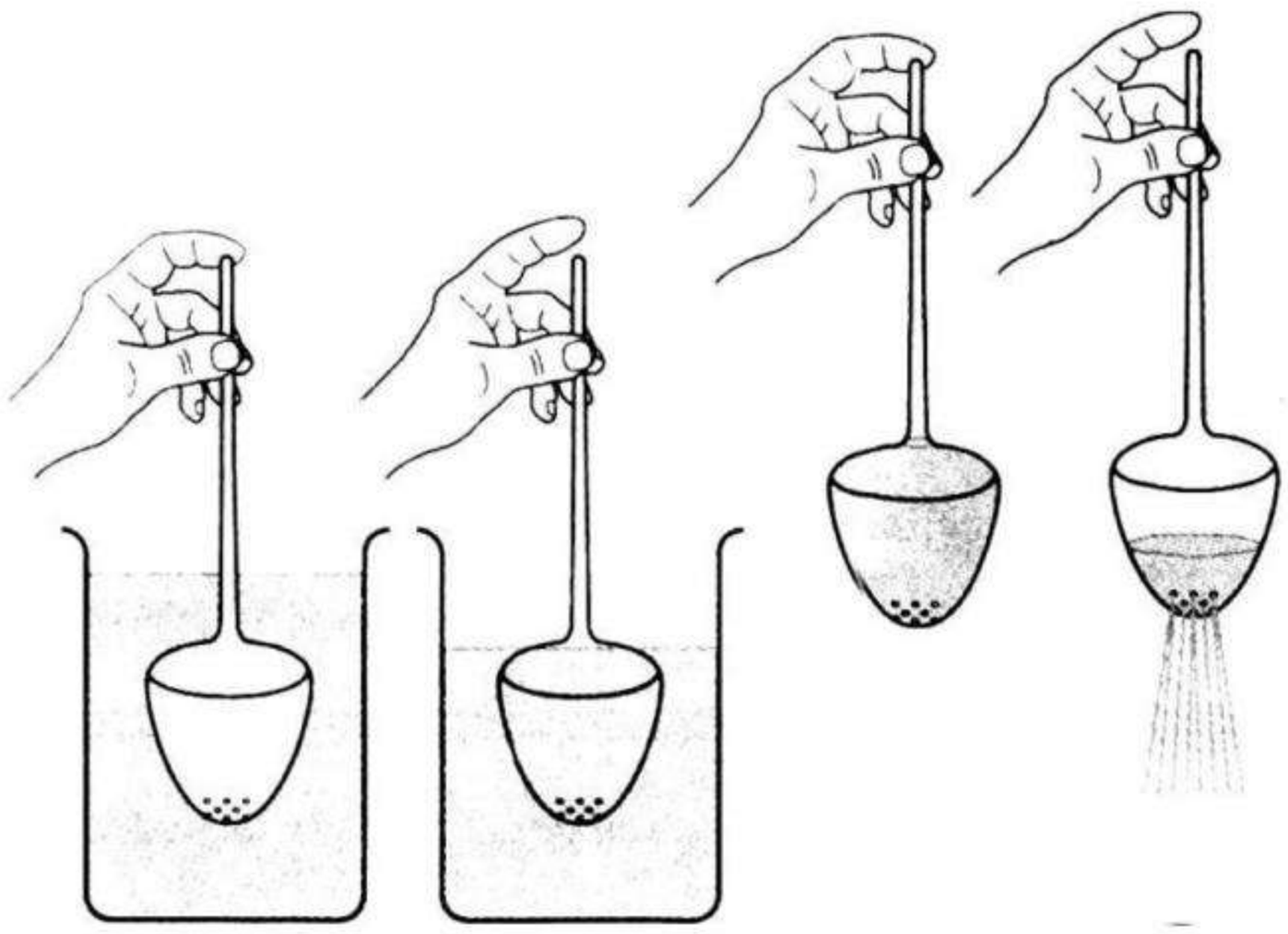
Vào thời Phục Hưng, nhà thiên văn và vật lý Galilei (1564-1642) là nhà khoa học đầu tiên suy nghĩ một cách nghiêm túc về chân không. Ông cũng là người đầu tiên áp dụng phương pháp thực nghiệm, dựa trên thí nghiệm và quan sát, để khám phá các bí mật của tự nhiên. Đối với ông, bản thân các suy luận triết học không đủ để dẫn tới chân lý. Việc giải quyết các vấn đề của tự nhiên không thể thực hiện chỉ dựa vào lý lẽ của người có uy tín, như trong trường hợp của Aristotle về sự không tồn tại của chân không. Chỉ có khoa học, dựa trên nghiên cứu các tính chất đo được và định lượng được của các vật thể vật chất (như thể tích, trọng lượng hay vận tốc của chúng), mới có thể làm được điều này. Và vì "quyển sách về Tự nhiên được viết bằng ngôn ngữ toán học", nên chỉ toán học mới có thể phát lộ cho chúng ta chân lý tối hậu. Trong tác phẩm lớn *Bàn về hai hệ thống lớn của thế giới* xuất bản năm 1632, ông khẳng định: "Trí tuệ con người có thể hiểu được một số mệnh đề một cách hoàn hảo và có thể có được sự chắc chắn về chúng như là chính Tự nhiên vậy. Đó là các mệnh đề hình học và số học[1]." Với Galilei, vật lý phải bắt đầu từ thực nghiệm (quan sát và đo đạc), từ đó có động lực để đưa ra công

---

[1] Galileo Galilei, *Bàn về hai hệ thống lớn của thế giới.*

thức toán học, công thức này sau đó phải đối mặt với thực tế và thí nghiệm trước khi được khẳng định hoàn toàn. Sự tác động qua lại liên tục giữa quan sát và lý thuyết tạo nên cái được gọi là "phương pháp khoa học" mà nhà bác học người Italy này xứng đáng được coi là cha đẻ.

Không còn là chủ đề của những tranh luận triết học nữa mà trở thành một vấn đề khoa học, chân không trở thành đối tượng của phương pháp thực nghiệm này. Nhưng trong lĩnh vực các thi nghiệm về chân không của vũ trụ, mảnh đất này không phải là hoàn toàn hoang sơ. Vào thế kỷ 5 trước CN, triết gia Hy Lạp Empedocles – người đã đưa ra ý tưởng vũ trụ tràn ngập một chất bí ẩn gọi là "quinte essence" (tinh chất thứ năm) – đã có một phát hiện quan trọng khi nghiên cứu về bản chất của không khí. Để biết không khí là một chất cụ thể hay chỉ là khoảng không, ông đã nghiên cứu hành vi của nước khi nhúng một ống pipet có đục các lỗ nhỏ ở phía dưới và một lỗ hở hẹp ở phía trên vào trong nước (xem hình vẽ). Ông nhận thấy rằng nếu ta bịt ngón tay vào lỗ hở ở trên để ngăn không khí thoát ra thì nước không thể vào trong ống mặc dù có các lỗ phía dưới. Chỉ khi thả ngón tay để cho phép khí thoát ra thì nước mới tràn vào ống. Ngạc nhiên hơn nữa là nếu ta tiếp tục bịt lỗ hở ở trên thì nước không chảy ra được kể cả khi ta lấy ống ra khỏi bồn nước, nước vẫn ở lại trong ống bất chấp trọng lực và các lỗ thủng ở đáy ống. Chỉ khi thả ngón tay ra để không khí đi vào ống thì nước mới chảy ra và bị thay thế bởi không khí "vào từ bên trến theo một dòng rối loạn", theo ông ghi nhận.



Hành vi kỳ lạ của ống pipet chứa nước bị đục lỗ ở đáy được quan sát bởi Empedocles: nước không tràn vào (hình ngoài cùng bên trái) hoặc không chảy ra (hình bên phải) chừng nào lỗ hở bên trên bị bịt kín.

Từ các quan sát này, ông đã suy luận rất chính xác rằng không khí cũng như nước là một chất chứ không phải là trống rỗng. Mặt khác, ông cũng kết luận một cách đúng đắn rằng nước và không khí không thể chứa trong cùng một thể tích không gian: cái này sẽ đẩy cái kia ra. Điều này giải thích tại sao nước không thể đi vào trong ống qua các lỗ phía dưới chừng nào lỗ phía trên bị bịt kín vì không khí không thể thoát ra để dành chỗ cho nước. Còn để hiểu được tại sao nước không chảy ra khỏi ống khi phía trên bị bịt kín, ta phải đợi tới hai ngàn năm nữa, trước khi Evangelista Torricelli người Italy, học trò của Galilei, đưa ra lời giải thích.

Không khí có trọng lượng

Nhưng ngay cả khi chấp nhận không khí là một chất, thì liệu có thể tạo ra một khoảng không trống rỗng thực sự khi lấy hết không khí ra khỏi một thể tích không gian nào đó? Aristotle nghĩ rằng điều này là không thể bởi như ta đã thấy, "tự nhiên sợ chân không". Giải thích đơn giản này có ưu điểm là tính đến cách tự nhiên nhất, ít ra là vẻ ngoài, của vô vàn các hiện tượng mà ta quan sát thấy hằng ngày. Chẳng hạn, hãy xem xét một ống hút mà ta vẫn dùng để hút nước từ một cái cốc. Việc hút làm cho nước chạy lên bất chấp lực hấp dẫn. Một cách giải thích "tự nhiên" là nói rằng hành động hút này đã rút không khí khỏi ống hút và nước dâng lên là để lấp đầy khoảng không còn lại. Các ví dụ khác dường như cũng gợi ý cho thấy tự nhiên sợ chân không, chẳng hạn đã được Lucretius mô tả vào thế kỷ 1 trước CN trong tác phẩm *De rerum natura*. Ông viết: ta hãy xem xét hai tấm phẳng làm bằng thủy tinh hoặc kim loại, đặt chồng lên nhau. Ta có thể làm cho chúng trượt trên nhau một cách dễ dàng, nhưng lại rất khó để tách chúng ra. Một cách giải thích khả dĩ cho hành vi này là khi tách chúng ra, một khoảng trống đã được tạo ra. Và do tự nhiên sợ chân không nên nó chống lại việc tách đó.

Galilei không tin vào khẳng định của Aristotle về chân không. Trực giác mách bảo ông rằng một khoảng không thực sự có thể tồn tại và ông bắt đầu suy nghĩ về các thí nghiệm nhằm chứng minh điều này. Trong cuốn *Bàn về hai khoa học mới* soạn vào năm 1683, sau khi ông bị cấm túc tại gia bởi tòa án dị giáo vì đã tuyên bố ủng hộ hệ thống nhật

tâm của Copernicus, ông đã để Salviati, nhân vật thế thân và là người phát ngôn của ông, mô tả hai thí nghiệm sau đây trong không khí. Thí nghiệm thứ nhất dựa trên thực tế là khí nóng bay lên và thoát ra khỏi một bình được đun nóng. Bằng cách đo tỷ lệ khác biệt về trọng lượng giữa một bình lạnh, nặng hơn, và bình được đun nóng, nhẹ hơn do khí nóng thoát ra, ông đã chứng minh được bằng thực nghiệm rằng không khí cũng có trọng lượng. Nhưng mật độ của không khí, tức tỷ số giữa khối lượng và thể tích, vẫn còn chưa biết bởi vì Galilei không có thông tin gì về thể tích của không khí nóng đã thoát ra. Đó là lý do tại sao lại có thí nghiệm thứ hai: bằng cách cân một bình ban đầu chứa không khí, rồi sau đó chứa nước, ông đã xác định được rằng không khí nhẹ (hay loãng) hơn nước khoảng 400 lần. Một kết quả đáng kinh ngạc bởi nó chỉ sai biệt hai lần so với kết quả hiện đại là 800 lần ở mực nước biển. Ý tưởng không khí có trọng lượng không phải là mới. Vào năm 1500, Leonardo da Vinci (1452-1519) đã nghĩ rằng không khí là một chất có trọng lượng và ta có thể dựa vào nó để bay lên. Ông thậm chí còn vẽ các thiết kế cho những máy bay đầu tiên (xem hình). Nhưng Galilei mới là người đầu tiên chứng minh được bằng thực nghiệm rằng không khí cũng có trọng lượng[1].

---

[1] Để biết chi tiết hơn, xem thêm *Nothingness* (Hư không) của Henning Genz, *The book of Nothing* (Cuốn sách về Cái Không) của John D. Barrow và *Qu'est-ce que le vide?* (Chân không là gì?) của Frank Close.

Bản vẽ một máy bay của Leonardo da Vinci, dựa trên ý tưởng không gian không trống rỗng mà chứa đầy không khí.

Chân không và chuyển động của các vật

Chân không cũng khiến Galilei quan tâm trong một bối cảnh khác: ông dùng nó để nghiên cứu chuyển động của các vật trong không gian. Trong khi Aristotle chỉ quan tâm tới chuyển động trong chân không để lý luận rằng nó không thể tồn tại, thì Galilei lại sử dụng nó như là nơi để mô tả chuyển động của các vật bởi các định luật vật lý và toán học. Trong tác phẩm đã nói ở trên, ông bàn về chuyển động của các vật trong một chân không giả tưởng để có thể loại bỏ sức cản của không

khí có tác dụng cản trở và làm thay đổi chuyển động. Ông chứng minh được rằng trong chân không, mọi vật thể thả từ một độ cao nào đó sẽ có cùng vận tốc và gia tốc khi chúng chạm tới mặt đất, bất kể trọng lượng của chúng. Nói một cách khác, nếu ta thả một cái lông hoặc một mảnh chì từ đỉnh một ngọn tháp, và nếu chúng rơi trong chân không, chúng sẽ rơi với cùng tốc độ và chạm mặt đất vào cùng một thời điểm. Lập luận của ông rất đơn giản và tài tình. Giả sử, ông nói, hai vật thể một nặng một nhẹ được thả từ đỉnh tháp. Hai vật thể này không tự do mà được buộc với nhau bằng một sợi dây. Câu hỏi đặt ra là liệu vật nhẹ buộc vào một vật nặng sẽ làm cho nó rơi xuống đất chậm lại hay nhanh hơn? Nếu vật nhẹ rơi chậm hơn vật nặng, nó sẽ kéo dây lại và làm vật nặng rơi chậm hơn. Nhưng ta cũng có thể lý luận rằng hai vật buộc với nhau sẽ tạo thành một hệ nặng hơn so với vật nặng ban đầu, và như vậy hai vật cùng nhau sẽ phải rơi nhanh hơn so với khi chỉ có vật nặng ban đầu. Và như thế ta đã đi đến một kết luận vô lý rằng vật nhẹ vừa làm vật nặng rơi nhanh hơn lại vừa làm cho nó rơi chậm hơn! Cách duy nhất để tránh điều vô lý này là sự có mặt của vật nhẹ không làm ảnh hưởng gì tới chuyển động rơi của vật nặng, tức là nó rơi nhanh như vật nặng.

Truyền thuyết kể rằng Galilei đã làm thí nghiệm từ đỉnh tháp nghiêng Pisa, nhưng điều này nhiều khả năng là sai bởi vì không khí chắc chắn sẽ làm sai lệch kết quả thí nghiệm. Có lẽ hợp lý hơn là Galilei đã thực hiện một "thí nghiệm tưởng tượng", tức là một thí nghiệm không phải được tiến hành trên thực tế nhưng về nguyên tắc thì những kết luận

rút ra từ đó là không thể phủ nhận[1]. Do không có một chân không thực sự, nhà vật lý người Italy đã tưởng tượng ra tình huống như thế để có được kết quả về sự chuyển động của các vật. Để tỏ lòng tôn kính ông, các nhà du hành vũ trụ trên con tàu Apollo 15 đã thực hiện lại thí nghiệm này vào năm 1971 trên bề mặt không có không khí của Mặt Trăng: họ đã thả cùng lúc từ cùng một độ cao một chiếc lông chim ưng và một cái búa, hai vật này đã rơi chạm vào bề mặt Mặt Trăng vào cùng một thời điểm đúng như Galilei đã dự đoán trước đó hơn 300 năm.

Máy bơm nước và áp suất khí quyển

Trong tất cả các thí nghiệm, thí nghiệm với máy bơm là thứ có tính quyết định để xác định rằng không khí có trọng lượng và nó tạo ra một áp suất lên tất cả mọi thứ trên mặt đất. Galilei đã được chứng kiến máy bơm nước hoạt động ở các trang trại để bơm nước ra khỏi các hố. Một thực tế đã khiến ông băn khoăn: thợ bơm vùng Florentina đã nói với ông rằng dù các kỹ sư có tài tình đến mấy thì cũng không thể bơm được nước từ độ sâu 18 sải tay, hay theo đơn vị hiện nay là khoảng 10,4 m. Ông đã mô tả sự ngạc nhiên của mình trong cuốn *Bàn*

---

[1] Các thí nghiệm tưởng tượng thường được các nhà vật lý lớn sử dụng, không chỉ để chứng minh các nguyên lý vật lý (như Einstein tự hỏi thế giới sẽ trông thế nào nếu như ông cưỡi trên một hạt ánh sáng) mà còn để làm sáng tỏ các kết quả nghịch lý trong việc diễn giải một số tình huống vật lý (như chú mèo vừa sống vừa chết của Schrödinger).

về hai khoa học mới: "Khi lần đầu tiên tôi biết được vấn đề này, tôi nghĩ rằng máy bơm hoạt động không tốt; nhưng người thợ sửa máy nói với tôi rằng vấn đề không phải là do máy bơm, mà là mực nước đã xuống quá thấp; và anh ta nói thêm rằng bất cứ máy bơm hay thứ gì khác hoạt động dựa trên nguyên lý hút cũng không thể bơm được nước lên từ sâu hơn 18 sải tay dù là một li[1]." Galilei học được kinh nghiệm của các nông dân đã từng thử hút nước khỏi các hố bị ngập nước: phương pháp bơm bằng cách hút nước chỉ có hiệu quả ở độ sâu thấp, và nó sẽ không hoạt động nếu hút nước từ độ sâu quá 10 m. Galilei đã nhận thấy ngay lập tức một lý lẽ chống lại *horror vacui* của Aristotle: nếu như tự nhiên sợ chân không, và nếu như nước dâng lên để lấp đầy khoảng trống tạo ra bởi cái bơm, thì tại sao sự sợ hãi này đột nhiên lại không hiệu quả từ độ sâu 10,4 m? Điều này thật vô lý.

Vinh dự giải quyết được bài toán bơm nước này không thuộc về Galilei mà thuộc về một trong các học trò của ông, Evangelista Torricelli (1608-1647). Là một nhà vật lý và toán học xuất sắc, Torricelli đã làm việc như một thư ký cho Galilei trong những năm 1641-1642. Ông cũng kế thừa chức toán học gia của Galilei tại cung đình của đại công tước Toscane Ferdinand II, trước khi mất sớm ở tuổi 39. Qua câu chuyện máy bơm không thể bơm nước từ độ sâu hơn 10,4 m, Torricelli cũng đã hiểu được rằng giới hạn này không thể giải thích được bởi cái gọi là sự sợ hãi chân không, mà điều này có

---

1 Galileo Galilei, *Bàn về hai khoa học mới* (sdd).

thể có liên quan tới khí quyển của Trái Đất. Do trọng lượng của không khí, khí quyển sẽ tạo ra một áp lực lên mặt đất, và chính áp suất không khí này sẽ làm cho không khí lấp đầy mọi khoảng trống được tạo ra.

Để kiểm tra cảm nhận có tính trực giác này, bắt buộc phải có thí nghiệm. Nhưng nếu như ta làm thí nghiệm với một chất lỏng, như nước, thì sẽ cần loại bình cao tới 10 m, điều này không những đắt đỏ mà còn rất không thực tế. Torricelli đã có một ý tưởng rất tài tình là thay thế nước bằng thủy ngân. Tại sao lại chọn như thế? Bởi vì trong tất cả các chất lỏng, thủy ngân là đặc nhất (tức có mật độ hay khối lượng riêng lớn nhất), gần gấp 14 lần (chính xác là 13,6 lần) mật độ của nước. Nếu áp suất khí quyển ảnh hưởng tới việc bơm nước như Torricelli nghĩ, thì áp suất này cũng sẽ tác động như thế với mọi chất lỏng, mà cụ thể là thủy ngân. Nhưng do nó nặng hơn nước gần 14 lần, nên cột thủy ngân không thể lên được độ cao tối đa thấp hơn 14 lần so với cột nước, tức là chỉ 0,76 m (10,4 m/13,6) hay 76 cm. Do đó chỉ cần các bình nhỏ hơn nhiều, rẻ hơn và dễ xử lý hơn.

Vào năm 1643, Torricelli đã tiến hành ở Florentina thí nghiệm nổi tiếng mà ngày nay mang tên ông. Ông đổ đầy thủy ngân vào một ống thủy tinh cao 1m, bịt một đầu bằng tay rồi lật ngược đặt vào một chậu cũng chứa đầy thủy ngân, với miệng ống thấp hơn mặt thủy ngân trong chậu. Khi bỏ tay bịt ống, ông thấy rằng mực thủy ngân trong ống luôn giảm xuống một mức cố định là 0,76 m so với bề mặt thủy ngân trong chậu, đúng như ông đã dự đoán. Độ cao này là cố định, bất kể hình

dạng, độ dài hay đường kính của ống[1] (xem hình bên). Cách giải thích thật đơn giản: với độ cao 0,76 m, cột thủy ngân trong ống có trọng lượng tạo nên một áp suất đúng bằng áp suất khí quyển tạo trên bề mặt của thủy ngân trong chậu. Ở đây, Torricelli đã chứng minh được rằng chính áp suất khí quyển quyết định độ cao cột thủy ngân trong ống. Ông đã trở thành người phát minh ra khí áp kế thủy ngân, dụng cụ ngày nay thường dùng để đo áp suất khí quyển (đồng thời cũng đo thời tiết, vì áp suất cao tương ứng với trời đẹp và áp suất thấp tương ứng với trời xấu) bằng cách quan sát độ cao của cột thủy ngân[2].

Bằng thí nghiệm của mình, Torricelli đã đồng thời đưa ra chìa khóa để giải quyết vấn đề bơm nước đã từng làm Galilei đau đầu: tại sao nước lại không bơm lên được quá 10,4 m? Do áp suất khí quyển không đủ mạnh để đẩy nước lên cao hơn trong khoảng trống do bơm tạo ra. Thí nghiệm của ông cũng cho ta chìa khóa để giải thích một hiện tượng đã được Empedocles quan sát cách đây 2000 năm: tại sao nước lại không rơi khỏi ống pipet đục lỗ ở đáy khi miệng ống ở phía trên bị bịt chặt, trong khi nó sẽ chảy ngay xuống khi bỏ tay bịt ra? Với ngón tay bịt miệng ống, áp suất khí quyển không thể tác động vào nước, nhưng ngay khi ta thả tay ra, không khí sẽ ép xuống và đẩy nước ra.

---

1 Chiều cao của cột thủy ngân là 0,76 m nếu như thí nghiệm được tiến hành ở mực nước biển. Giá trị này sẽ nhỏ hơn ở độ cao lớn hơn do áp suất giảm như ta sẽ thấy.

2 Đơn vị áp suất sử dụng để đo độ chân không là *torr*, theo tên của ông.

Thí nghiệm Torricelli. Độ cao của cột thủy ngân luôn bằng nhau trong các ống của khí áp kế, bất kể hình dạng của nó. Độ cao này được xác định bởi áp suất do khí quyển gây ra ở bề mặt của thủy ngân trong chậu, và bằng 76 cm.

Torricelli tạo ra chân không

Một kết quả đáng kinh ngạc khác của thí nghiệm Torricelli đó là nó là thí nghiệm đầu tiên tạo ra chân không một cách bền vững. Thực vậy, không khí không thể có mặt trong ống chứa đầy thủy ngân, hai thứ này không thể cùng tồn tại. Khi ống được lộn ngược, khoảng không tạo ra do mực thủy ngân hạ xuống và ổn định ở độ cao 0,76 m sẽ phải là chân không. Torricelli hiểu rõ rằng chính nhờ vào áp suất của khí quyển mà ông có được kết quả này. Trong bức thư viết cho một người bạn vào ngày 10/6/1644, ông thổ lộ: "Nhiều người nghĩ rằng không thể tạo được chân không; số khác lại nghĩ rằng điều này là có thể nhưng rất khó khăn, bởi cần phải vượt qua sự cản trở của tự nhiên (...) Về phần tôi, tôi nghĩ rằng nếu như có tồn tại một sự cản trở như thế đối với việc tạo ra chân không thì ta cũng không nên gán sự cản trở đó cho chính bản thân chân không. Sự cản trở này phải tùy thuộc vào các tình huống bên ngoài (...) Chúng ta sống trong một đại dương không khí, và qua các thí nghiệm, ta đã biết chắc chắn rằng không khí có trọng lượng. Thực ra, ở mặt đất, không khí nhẹ hơn nước tới khoảng 400 lần[1] (...)"

Và Torricelli còn viết thêm: "Trọng lượng của không khí mà Galilei xác định được chỉ đúng ở độ cao nơi đa số người và động vật sinh sống, nhưng không còn đúng trên đỉnh các ngọn núi: ở đó không khí trong sạch hơn và nhẹ hơn đáng kể

---

[1] Đây là giá trị xác định bởi Galilei. Giá trị ngày nay như ta đã thấy là cao hơn gấp 2 lần, tức là khoảng 800 lần.

so với 1/400 trọng lượng nước." Ông cũng hiểu được rằng áp suất khí quyển thay đổi theo độ cao. Ở những nơi cao, trên núi chẳng hạn, có ít không khí hơn và áp suất cũng thấp hơn. Nói cách khác, nếu như thí nghiệm với ống thủy ngân được thực hiện ở nơi cao, thì độ cao của cột thủy ngân trong ống sẽ thấp hơn. Nhưng ông chỉ dừng lại ở đó và không thực hiện các thí nghiệm cần thiết để kiểm tra dự đoán của mình. Nhiệm vụ này nhường lại cho một thiên tài trẻ người Pháp tên là Pascal.

Pascal, chân không và rượu vang

Sinh ra tại Clermont-Ferrand, Blaise Pascal (1623-1662), nhà toán học, vật lý, triết học và đạo đức học chỉ sống được vẻn vẹn 39 năm. Mặc dù vậy cuộc đời của ông rất thỏa nguyện. Bất chấp mối lo ngại thường xuyên về sức khỏe do chứng đau đầu ác liệt gây ra, Pascal đã có những đóng góp rất cơ bản và độc đáo trong rất nhiều lĩnh vực: tính toán xác suất, hình học và đại số, và cái mà ta quan tâm nhất ở đây là những nghiên cứu về các chất lỏng và chất khí dưới áp suất.

Sinh ra trong một gia đình tiểu quý tộc pháp đình (cha là một thẩm phán), tự học (cha ông quyết định tự mình dạy dỗ con trai), ông sớm thể hiện các khả năng trí tuệ khác thường. Muốn con tập trung vào tiếng Latin và Hy Lạp hơn là toán học mà ông yêu thích, cha ông đã cấm ông đọc các tác phẩm về toán cho tới năm 15 tuổi. Bất chấp điều này, vào năm 12 tuổi, ông đã tự khám phá lại một số tính chất hình học của các tam giác mà Euclid đã đưa ra khoảng 2000 năm trước. 16

tuổi, ông xuất bản các phát minh đầu tiên về hình học trong cuốn *Traité sur les coniques* (*Chuyên luận về các đường conic*). Năm 19 tuổi, ông sáng tạo ra máy tính cơ học đầu tiên gọi là "pascaline" để giúp cha ông trong việc thu thuế. Vào năm 1646, lúc 23 tuổi, tại thành phố Rouen nơi gia đình ông chuyển tới sau khi rời Paris sáu năm trước do cha ông được thăng chức ủy viên thuế vụ, Pascal đã nghe một người bạn nói đến thí nghiệm của Torricelli. Ngay lập tức ông quyết định làm lại thí nghiệm này. Khi ấy, ông hành động như một nhà khoa học thực thụ: một thí nghiệm cần phải được kiểm tra một cách độc lập bởi các nhà nghiên cứu khác, sử dụng các công cụ và phương pháp khác, trước khi chấp nhận các kết quả. Thí nghiệm của Torricelli đã được Pascal làm lại và khẳng định. Giống Torricelli, Pascal kết luận rằng độ cao (0,76 m) của thủy ngân trong ống cần phải có giá trị sao cho áp suất tạo bởi cột thủy ngân phải cân bằng với áp suất của khí quyển tác động lên bề mặt thủy ngân trong chậu. Cũng giống như nhà vật lý người Italy, ông nghĩ rằng trong vùng không gian trong ống không chiếm bởi thủy ngân chỉ có thể là chân không.

Tuy nhiên, kết luận cuối này không có được sự đồng thuận tuyệt đối. Một số đưa ra giả thuyết cho rằng thể tích của không gian phía trên thủy ngân lỏng không phải do áp suất khí quyển tạo ra, mà bởi lượng thủy ngân đã bốc hơi. Không gian này không phải là chân không mà chứa đầy hơi thủy ngân. Để kiểm tra giả thuyết này, Pascal đã quyết định thực hiện lại thí nghiệm của Torricelli nhưng có sự thay đổi: chất lỏng sử dụng không phải thủy ngân mà là nước và... rượu vang. Việc

sử dụng hai chất lỏng này, như ta đã xem xét trường hợp của nước, thật sự không thuận tiện bởi chúng có mật độ thấp hơn (hay nhẹ hơn) 13 lần so với thủy ngân. Điều này nghĩa là cột nước và rượu sẽ cao gấp 13 lần cột thủy ngân, tức là cần phải sản xuất được các ống khổng lồ bằng thủy tinh có độ cao tới 13 m, một việc rất tốn kém. Nhưng Pascal quyết định không lăn tăn về chi phí: các kết quả sẽ chính xác hơn và cho phép ông đo đạc sự khác biệt nhỏ giữa hành vi của hai chất lỏng. Theo suy luận của nhà vật lý trẻ, nếu như khoảng không phía trên của chất lỏng chứa đầy hơi thì do rượu vang bay hơi dễ hơn nước (chính sự dễ bay hơi này cho phép ta ngửi được hương vị của rượu trước khi thưởng thức nó), lượng hơi rượu lớn hơn thoát ra sẽ chiếm một khoảng thể tích lớn hơn trong ống so với nước. Hay nói một cách khác, mức rượu trong ống sẽ phải thấp hơn so với mức nước. Ngược lại, nếu áp suất khí quyển là nguyên nhân chính tạo ra khoảng không gian phía trên trong ống ta sẽ nhận được kết quả ngược lại: rượu có khối lượng riêng thấp hơn nước (0,994 thay vì 1 gram trên một centimet khối), nên cột rượu trong ống sẽ cao hơn cột nước để cả hai có cùng một trọng lượng, tức là cùng một áp suất chống lại áp suất khí quyển.

Những thí nghiệm đầu tiên được thực hiện vào đầu năm 1647 ở Rouen. Vào ngày D, thể hiện khả năng truyền thông của mình, Pascal đã cho dựng lên hai ống thủy tinh lớn gắn trên cột (Hình 1, trong tập ảnh màu) trước một đám đông 500 khán giả. Kết quả của thí nghiệm này là không thể tranh cãi. Cột rượu cao hơn cột nước trong ống. Khoảng chân không

được tạo ra đúng là kết quả của áp suất không khí chứ không phải bởi hơi chất lỏng. Sau thí nghiệm này, Pascal đã tin chắc rằng mọi hiện tượng gán cho sự sợ hãi chân không của tự nhiên đều có thể giải thích một cách tự nhiên bằng áp suất khí quyển. Ông cũng chắc chắn rằng khoảng không gian không chứa chất lỏng trong ống (dù là thủy ngân, nước hay rượu) thực sự là chân không. Thật ra, cũng có một chút hơi chất lỏng trong khoảng không đó, tuy nhiên áp suất mà chúng tạo ra nhỏ đến mức nếu so với áp suất khí quyển thì sự có mặt của chúng hoàn toàn có thể bỏ qua.

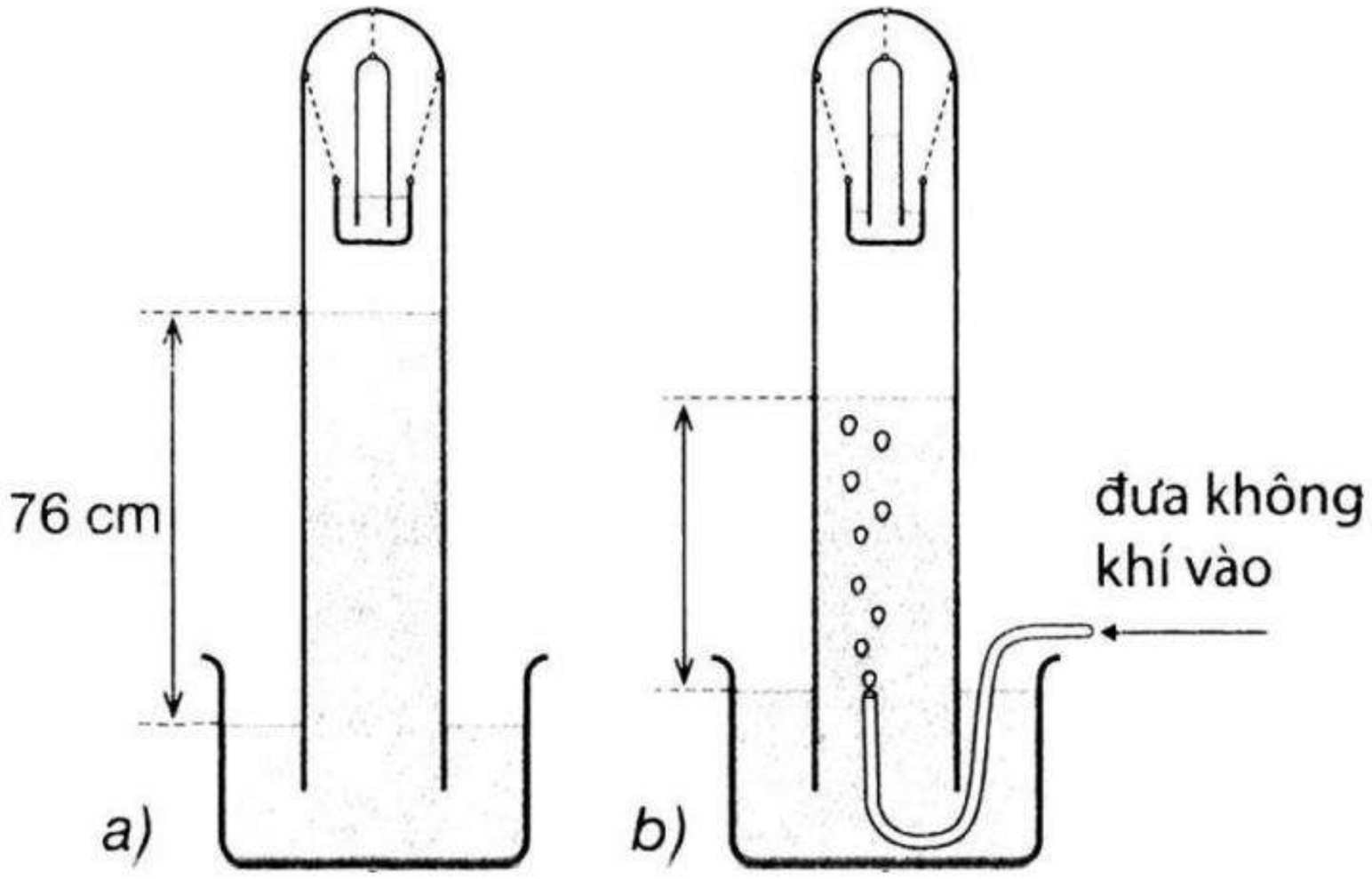
Chân không trong chân không

Nhưng nhà vật lý trẻ không dừng lại ở đó. Để chứng minh một cách triệt để rằng chính áp suất khí quyển tạo ra không gian phía trên cột chất lỏng, ông đã tiến hành nhiều thí nghiệm. Bằng cách thực sự áp dụng phương pháp khoa học, ông ý thức rõ rằng ở đây không phải là khẳng định mà là phải đưa ra các bằng chứng. Ông đã miêu tả quyết tâm của mình như sau: "Tất cả mọi người tìm cách loại bỏ chân không, họ đua nhau áp đặt sức mạnh tinh thần mà người ta mệnh danh là sự tinh tế ở trường học, và để giải quyết các khó khăn thực sự, họ chỉ nói suông mà chẳng có căn cứ gì. Tôi quyết tâm làm các thí nghiệm có tính thuyết phục đến mức không ai có thể đưa ra các ý kiến phản đối[1]."

---

[1] Blaise Pascal, *Oeuvré completes* (Toàn tập).

Một trong những thí nghiệm tài tình của Pascal có thể được gọi là "chân không trong chân không". Đầu tiên ông tạo ra chân không trong một ống lớn bằng thủy tinh bằng cách dựng ngược nó trong một chậu chứa đầy thủy ngân (như đã làm). Khi đó, độ cao của cột thủy ngân trong ống, như đã biết, bằng 0,76 m, tạo ra một khoảng chân không ở phía trên bề mặt thủy ngân. Trong khoảng chân không thứ nhất này, Pascal đưa vào một ống thủy tinh thứ hai, có kích thước nhỏ hơn, cũng được dựng ngược trong một chậu thủy ngân thứ hai nhỏ hơn. Ông nhận thấy rằng trong khoảng chân không này, không có áp suất khí quyển bên ngoài, mực thủy ngân



Thí nghiệm của Pascal về "chân không trong chân không". a) Mực thủy ngân trong ống nhỏ không dâng lên trong chân không, khi không có áp suất khí quyển; b) ngay khi ta tạo ra áp suất khí quyển bằng cách đưa không khí vào, mực thủy ngân trong ống nhỏ dâng lên. Như vậy, việc dâng lên của thủy ngân chính là do áp suất của không khí chứ không phải do sự sợ hãi chân không.

trong ống thứ hai ngang bằng với bề mặt của thủy ngân trong chậu nhỏ. Chỉ khi ta đưa không khí vào trong khoảng chân không thứ nhất thì mực thủy ngân trong ống thứ hai mới dâng lên (và mực thủy ngân trong ống thứ nhất giảm xuống do áp suất của không khí mới đưa vào) (hình). Như vậy chính áp suất của không khí làm cho mực thủy ngân trong ống nhỏ cao hơn mực thủy ngân trong chậu nhỏ chứ không phải do sự sợ hãi chân không của tự nhiên như Aristotle đã tuyên bố.

Nỗi sợ hãi chân không đã bị vứt vào quên lãng

Nhưng những người ủng hộ *horror vacui* không chấp nhận thất bại. Họ không ngừng tìm kiếm các lý lẽ ngày càng phức tạp để giải thích những kết quả của Pascal mà không phải dùng đến áp suất không khí. Chẳng hạn, để giải thích các kết quả của thí nghiệm chân không trong chân không, họ đưa ra ý tưởng rằng sự sợ hãi chân không của tự nhiên có thể đã được thỏa mãn đầy đủ bởi chân không đầu tiên, nên hoàn toàn không cần phải thể hiện trong chân không thứ hai.

Để chấm dứt mọi tranh cãi vô bổ, Pascal quyết định ra đòn dứt điểm. Ông biết giả thuyết của Torricelli rằng không khí trở nên loãng hơn và áp suất khí quyển giảm đi ở những nơi cao hơn, độ cao của cột thủy ngân trong ống không phải là cố định mà giảm dần ở những độ cao lớn. Ông quyết định thực hiện lại thí nghiệm ở nhiều độ cao khác nhau, "trong cùng một ống, với cùng chất thủy ngân, khi thì ở chân núi, khi thì ở đỉnh núi (...) để kiểm tra xem liệu độ cao của

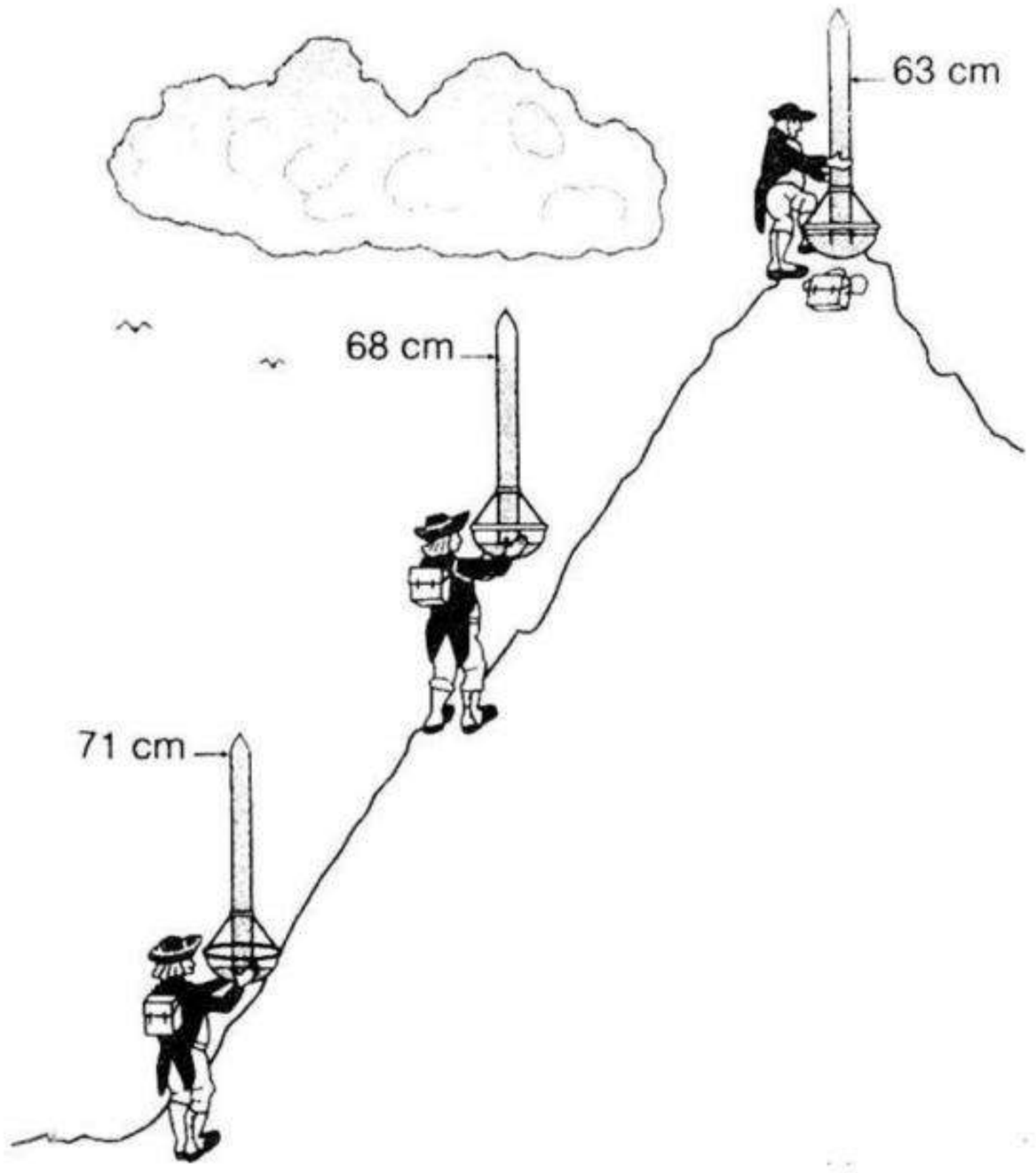
cột thủy ngân trong ống sẽ giống hay khác nhau ở hai tình huống này (...) Nếu như khi ở trên đỉnh núi, độ cao của cột thủy ngân thấp hơn so với khi ở chân núi thì chứng tỏ trọng lực và áp suất không khí là nguyên nhân duy nhất gây ra sự thay đổi độ cao của cột thủy ngân, chứ không phải là sự sợ hãi chân không, bởi vì chắc chắn ở chân núi có nhiều không khí hơn ở đỉnh núi[1]". Pascal quá ốm yếu để có thể trực tiếp thực hiện thí nghiệm này nên ông đã nhờ người anh rể là Florin Périer, cũng sống ở Clermont-Ferrant, làm giúp. Thành phố này cách ngọn núi Dôme không xa, đó là một núi lửa đang ngủ thuộc vùng núi Massif Central ở Auvergne. Núi lửa Dôme cao 1465 m so với mực nước biển, là nơi phù hợp để thực hiện công việc này. Vào tháng 9 năm 1648, tuân theo những chỉ dẫn chi tiết của Pascal, Périer đã đổ đầy thủy ngân vào hai ống giống hệt nhau rồi dựng ngược chúng và đặt vào trong chậu thủy ngân. Ông đo độ cao của cột thủy ngân đầu tiên đặt ở chân núi Dôme, ống này coi như là để làm đối chứng. Rồi cùng với một bác sĩ và hai thẩm phán, ông leo lên đỉnh núi. Trong quá trình leo lên, ông tiến hành đo đạc độ cao của cột thủy ngân trong ống còn lại ở các độ cao khác nhau. Các đo đạc tương tự cũng được thực hiện trong quá trình đi xuống. Khi quay trở lại chân núi, Périer xác nhận lại độ cao của thủy ngân trong hai ống là y hệt nhau.

---

1 Blaise Pascal, *Oeuvré completes* (Toàn tập).

Các kết quả của thí nghiệm là không thể chối cãi: ở nơi có độ cao càng lớn thì cột thủy ngân trong ống thứ hai càng thấp (hình). Với độ cao chênh lệch 900 m, Périer đo được cột thủy ngân giảm 8,3 cm. Với thành công rực rỡ và theo yêu cầu của người em vợ, Périer thực hiện lại thí nghiệm này tại chân và trên đỉnh tháp của nhà thờ Đức Bà ở Clermont có độ cao 39 m. Kết quả vẫn như cũ: độ cao của cột thủy ngân ở đỉnh của nhà thờ thấp hơn so với ở dưới đất. Độ chênh lệch tất nhiên là ít hơn nhiều (chỉ 4,5 mm) nhưng vẫn có thể đo được. Sau đó Pascal thực hiện lại thí nghiệm này tại nhiều tòa nhà khác ở Paris và đặc biệt là ở tháp Saint-Jacques với độ cao 52 m. Các kết quả là không thể nghi ngờ và luôn phù hợp với những tính toán của ông.

Tin tức này nhanh chóng lan truyền khắp châu Âu khoa học: phát súng ân huệ đối với nguyên lý *horror vacui* của Aristotle. Qua các thí nghiệm được thực hiện "với rất nhiều



Thí nghiệm của Pascal (do người anh rể Florin Périer thực hiện) ở núi lửa Dôme. Mực thủy ngân giảm dần khi thí nghiệm gia leo lên đỉnh núi. Tại đỉnh núi lửa Dôme, độ cao của mực thủy ngân thấp hơn khoảng 8 cm so với ở chân núi, bởi vì ở đây có ít không khí hơn, tức là áp suất khí quyển thấp hơn.

chi phí, vất vả và tốn thời gian", Pascal đã chứng minh được rằng ý tưởng sợ chân không này không phù hợp vì "ta không thể nói rằng tự nhiên sợ hãi chân không ở chân núi nhiều hơn là trên đỉnh núi". Tại sao ở đỉnh tháp chuông nó lại sợ hãi chân không ít hơn so với ở dưới sân? Tại sao nó lại sợ hãi chân không ít hơn khi trời xấu, áp suất khí quyển thấp, so với khi trời đẹp, áp suất khí quyển cao? Thực tế, nhà vật lý này cũng đã phát hiện ra rằng áp suất khí quyển không chỉ phụ thuộc vào độ cao mà còn phụ thuộc vào các điều kiện khí

tượng, chẳng hạn như độ ẩm, lực gió hay nhiệt độ không khí. Điều này có nghĩa là ta có thể biết được thời tiết chỉ bằng cách đo áp suất khí quyển: đây chính là nguyên lý của khí áp kế (*barometer*, theo tiếng Hy Lạp *baros* nghĩa là trọng lượng) mà chúng ta đã đề cập tới ở trên, và nó chỉ được thương mại hóa rất lâu sau đó, vào giữa thế kỷ 19.

Các thí nghiệm của Pascal về chân không đã mang lại tiếng tăm cho nhà khoa học trẻ ở khắp châu Âu. Để vinh danh các nghiên cứu của ông về áp suất khí quyển, hậu thế đã lấy tên ông đặt cho đơn vị đo áp suất.

Descartes và chân không

Pascal không chỉ phản đối quan điểm tự nhiên sợ chân không của Aristotle, mà ông còn đi ngược lại các ý tưởng của một khoa học gia lớn người Pháp cùng thời, đó là René Descartes (1596-1650). Đối với Pascal, như ta đã thấy, không gian không bị chiếm bởi thủy ngân trong ống không chứa bất kỳ vật chất nào. Descartes phủ định quan điểm này, bởi theo ông, không gian không thể tồn tại mà không có mặt vật chất. Ông đã giải thích như sau trong quyển *Principes de la philosophie* (*Các nguyên lý của triết học*) (1644): "Nhưng vì không có không gian trống rỗng ở bất kỳ nơi nào của vũ trụ, rằng các phần của vật chất, do có dạng tròn, không thể xếp chặt với nhau, nên để lại những khoảng trống nhỏ giữa chúng: các khoảng trống này cần được lấp đầy bằng một số phần khác của vật chất đó." Không gian cần tới vật chất cũng

giống như vật chất cần tới không gian. Không thể có chuyện một thứ không có gì lại có ngoại diên. Đối với ông, nếu một cái bình không chứa nước thì nó chứa đầy khí. Nếu như nó là trống rỗng, không chứa gì thì các thành của nó sẽ phải chạm nhau. Cha đẻ câu nói *Cogito ergo sum* (*tôi suy nghĩ tức là tôi tồn tại*) đã chối bỏ, một cách sai lầm, các lý thuyết của Galilei về sự rơi của vật trong chân không: "Tất cả những gì ông ấy nói về tốc độ các vật rơi trong chân không là không có cơ sở; bởi trước hết ông ấy cần phải xác định xem trọng lực là cái gì; và nếu như biết sự thật về nó, ông ấy sẽ thấy rằng nó bằng 0 trong chân không." Descartes không thể sai lầm hơn về vấn đề này: trọng lực thực sự tồn tại ngay cả trong chân không.

Cuộc gặp gỡ duy nhất được biết đến giữa hai nhà khoa học vĩ đại người Pháp này xảy ra vào tháng 9 năm 1647, một năm trước các thí nghiệm được tiến hành ở núi lửa Dôme. Nhưng họ không tìm được sự đồng điệu. Trong cuộc nói chuyện này, tác giả của *Discours de la méthode* (*Bàn về phương pháp*) giải thích với Pascal rằng trong thí nghiệm của Torricelli, chân không không hề tồn tại, mà "nó chứa đầy một chất tinh diệu có trong không khí bình thường và nó len lỏi vào trong ống thế chỗ cho thủy ngân, qua các chuyển động tròn". Chàng trai trẻ Pascal không đáp lời nhưng nghĩ rằng "các ý tưởng của Descartes chẳng qua chỉ là câu chuyện bịa đặt về tự nhiên[1]".

---

[1] Jacques Attali, *Blaise Pascal ou le génie francais* (Blaise Pascal hay thiên tài người Pháp).

Sự đánh cược của Pascal

Từ năm 1654, đồng thời với các nghiên cứu khoa học, Pascal cũng dành nhiều thời gian hơn cho tư duy triết học và tôn giáo. Chính trong giai đoạn này ông đã viết cuốn *Provinciales* (*Những lá thư tỉnh lẻ*), gồm các lá thư viết từ năm 1656 tới 1657 trong đó ông bảo vệ giáo lý Jansen và nhất là tác phẩm *Pensées* (*Suy tưởng*), được coi là một tác phẩm thần học đầy đủ nhất và cũng là một tượng đài của văn học Pháp. Trong tác phẩm này, dù ông không thể kết thúc trước khi mất, và được xuất bản như là một di cảo vào năm 1669, Pascal đã phân tích niềm tin Thiên Chúa giáo theo tinh thần sự thật khoa học, một cách logic và mạch lạc đồng thời đưa ra khái niệm trật tự. Trong đó ông bàn về các nghịch lý triết học – niềm tin và lý tính, hư vô và vô hạn, tinh thần và vật chất, sự sống và cái chết – một cách thiện ý và khiêm tốn. Nếu nói về chân không, đó không còn là cái chân không của không gian mà ông đã nghiên cứu rất sâu khi còn trẻ, mà là cái không và hư vô bên trong con người, "cây sậy biết suy nghĩ" bị lạc bước vì quá yêu bản ngã và sức mạnh dễ lầm lẫn của trí tưởng tưởng, tự dâng mình cho sự phù hoa, đem lại cảm giác bứt rứt trống rỗng, "buồn phiền" gây ra bởi sự thiếu đam mê và lười nhác. Ông đã đưa ra lời đánh cược nổi tiếng, khi sử dụng môn xác suất mà ông yêu mến để thuyết phục người vô thần đặt cửa vào sự tồn tại của Chúa. Ông lập luận rằng có hai khả năng xảy ra: hoặc Chúa tồn tại hoặc là không. Bởi vì lý trí không thể giúp ta quyết định, nên ta phải đặt cược. Như vậy sẽ có hai lựa chọn

khả dĩ: hoặc ta tin vào sự tồn tại của Chúa hoặc là ta không tin. Đối với Pascal, cách đặt cược tốt nhất là đặt cửa tin vào Chúa, bởi nếu Chúa tồn tại ta sẽ trúng lớn, phần thưởng sẽ là vô hạn trong khi nếu Chúa không tồn tại thì sự mất mát của ảo tưởng chúng ta chỉ là hữu hạn. Quyết định tồi nhất là đặt cửa cho vô thần, bởi nếu Chúa tồn tại thì tổn thất là vô hạn, còn nếu không thì cái được biểu hiện bởi thực tế là mình có lý chỉ là hữu hạn mà thôi.

Chateaubriand, trong đoạn văn nổi tiếng trong cuốn *Génie du christianisme* (*Thiên tài Thiên Chúa giáo*) đã ca tụng thiên tài của Pascal như sau: "Có một người lúc 12 tuổi với các thanh và các vòng đã tạo ra toán học; lúc 16 tuổi đã viết được chuyên luận bác học về các đường conic, một điều chưa từng thấy từ thời Cổ đại; người lúc 19 tuổi, đã quy giản một khoa học tồn tại chỉ hoàn toàn trong tâm trí thành một cỗ máy; người, mà lúc mới 23 tuổi, đã chứng minh được các hiện tượng của trọng lượng không khí, và phá bỏ một trong những sai lầm lớn của vật lý cổ đại; người ở độ tuổi mà với những người khác hầu như mới được sinh ra, lại đã hoàn tất vòng tròn của khoa học nhân văn, nhận thức được sự trống rỗng của con người, và hướng suy nghĩ của họ về tôn giáo; người mà từ thời điểm này cho tới khi qua đời ở tuổi 39 tuổi, luôn luôn ốm yếu, đã sang sửa ngôn ngữ của Bossuet và Racine, đã đưa ra mô hình của sự khôi hài hoàn hảo nhất như một suy lý mạnh mẽ nhất; cuối cùng, người mà trong những khoảng thời gian ngắn giữa các cơn đau đã giải quyết, một cách trừu tượng, một trong những vấn đề

cao nhất của hình học, và tung ra trên giấy những ý tưởng gần với cả Chúa và con người. Thiên tài đáng sợ này có tên là Blaise Pascal[1]."

Trọng lượng của không khí và các bán cầu Magdeburg

Pascal không phải là nhà khoa học duy nhất được truyền cảm hứng từ các thí nghiệm của Torricelli về chân không và chứng minh sự tồn tại của áp suất khí quyển. Một số người khác cũng sử dụng những thí nghiệm đó để kiểm tra sự tồn tại của cái chất vô hình bao bọc xung quanh hành tinh của chúng ta. Gần như cùng thời với Pascal, một kỹ sư người Đức tên là Otto von Guericke (1602-1686) cũng tiến hành các thí nghiệm ngoạn mục nhằm chứng minh trọng lượng của không khí. Mặc dù hai người không quen biết nhau, cả hai đều có chung một khả năng truyền thông sắc sảo, chứng tỏ một sự nhạy bén nhất định đối với những thí nghiệm gây ấn tượng đến trí tưởng tượng của công chúng.

Ở mực nước biển, không khí tạo một áp lực khoảng 10 tấn trên một mét vuông. Chúng ta không cảm nhận được trọng lượng này bởi áp suất không khí được cân bằng với áp suất nội tại của cơ thể. Để chứng minh trọng lượng khủng khiếp mà không khí đè lên mọi thứ trên Trái Đất, von Guericke

---

[1] Francois René de Chateaubriand, *Génie du christianisme* (Thiên tài Thiên Chúa giáo).

đã tiến hành một cuộc trình diễn nổi tiếng, được biết dưới cái tên "các bán cầu Magdeburg", tên một thành phố ở Đức mà ông giữ chức thị trưởng. Ông cho làm hai bán cầu rỗng bằng đồng đường kính khoảng một mét, khi lắp ráp lại sẽ tạo thành một quả cầu kín. Ngày làm thí nghiệm, vào năm 1654, đầu tiên von Guericke yêu cầu các khán giả tới kiểm tra để chắc rằng không có gì giữ hai bán cầu lại với nhau: việc lắp hay tháo chúng đều rất dễ dàng. Sau đó ông rút khí ra khỏi quả cầu tạo bởi hai bán cầu nhờ vào một bơm không khí lắp bên trong. Sau khi hai bán cầu đã được rút hết không khí, ông lại mời người xem tới tháo hai nửa bán cầu ra. Việc này dường như là không thể: hai bán cầu bị dính chặt với nhau. Để gây ấn tượng hơn nữa với người xem – đây chính là điểm mấu chốt của thí nghiệm-biểu diễn của ông – von Guericke đã gọi tới hai đàn móc do tám ngựa kéo mỗi bên. Mỗi đàn móc vào một bán cầu và kéo theo hai hướng ngược nhau (xem hình 2 trong tập ảnh màu). Vô ích: hai bán cầu không tách nhau dù chỉ một ly! Ngay cả lực tạo bởi tám con ngựa mỗi bên cũng không thể làm gì nổi! Giống như thay vì sợ hãi chân không, và muốn xóa bỏ nó ngay tức khắc bằng cách tách hai nửa bán cầu ra, tự nhiên lại muốn giữ nó bằng mọi giá... Và, lúc đó von Guericke mới mở van cho không khí ùa vào trong quả cầu. Việc tháo hai bán cầu lại dễ dàng như trò trẻ con vậy.

Việc giải thích thí nghiệm hai bán cầu Magdebourg rất đơn giản. Khi không khí bị rút ra khỏi quả cầu, không còn lực nào ở bên trong để cân bằng với áp lực mạnh tới 10 tấn trên

một mét vuông do không khí ép từ bên ngoài[1]. Nhưng ngay khi không khí quay trở lại, nó sẽ tạo một áp suất bên trong quả cầu, cân bằng với áp suất khí quyển ở bên ngoài, nên tổng lực tác động lên hai bán cầu sẽ bằng không: và sẽ không còn khó khăn gì để tháo chúng ra.

Lớp kén không khí bảo vệ hành tinh chúng ta

Các thí nghiệm của Torricelli, Pascal và von Guericke về chân không, cho thấy sự tồn tại của áp suất khí quyển, đã gieo mầm cho một sự thay đổi sâu sắc về ý thức của con người đối với khí quyển của hành tinh chúng ta. Giờ đây ta biết rằng Trái Đất không tiếp xúc trực tiếp với không gian giữa các vì sao mà có một lớp không khí đặc biệt bao bọc và bảo vệ nó như một cái kén. Không có cái kén này, sự sống không thể xuất hiện. Lớp khí quyển dày vừa đủ để bảo vệ các sinh vật khỏi tia cực tím có hại của Mặt Trời và các tia vũ trụ[2] nguy hiểm của không gian, và cho phép các sinh vật này nảy nở và phát triển; nó cũng đủ mỏng để năng lượng ánh sáng từ ngôi sao của chúng ta đi qua, cần thiết cho việc duy trì sự sống.

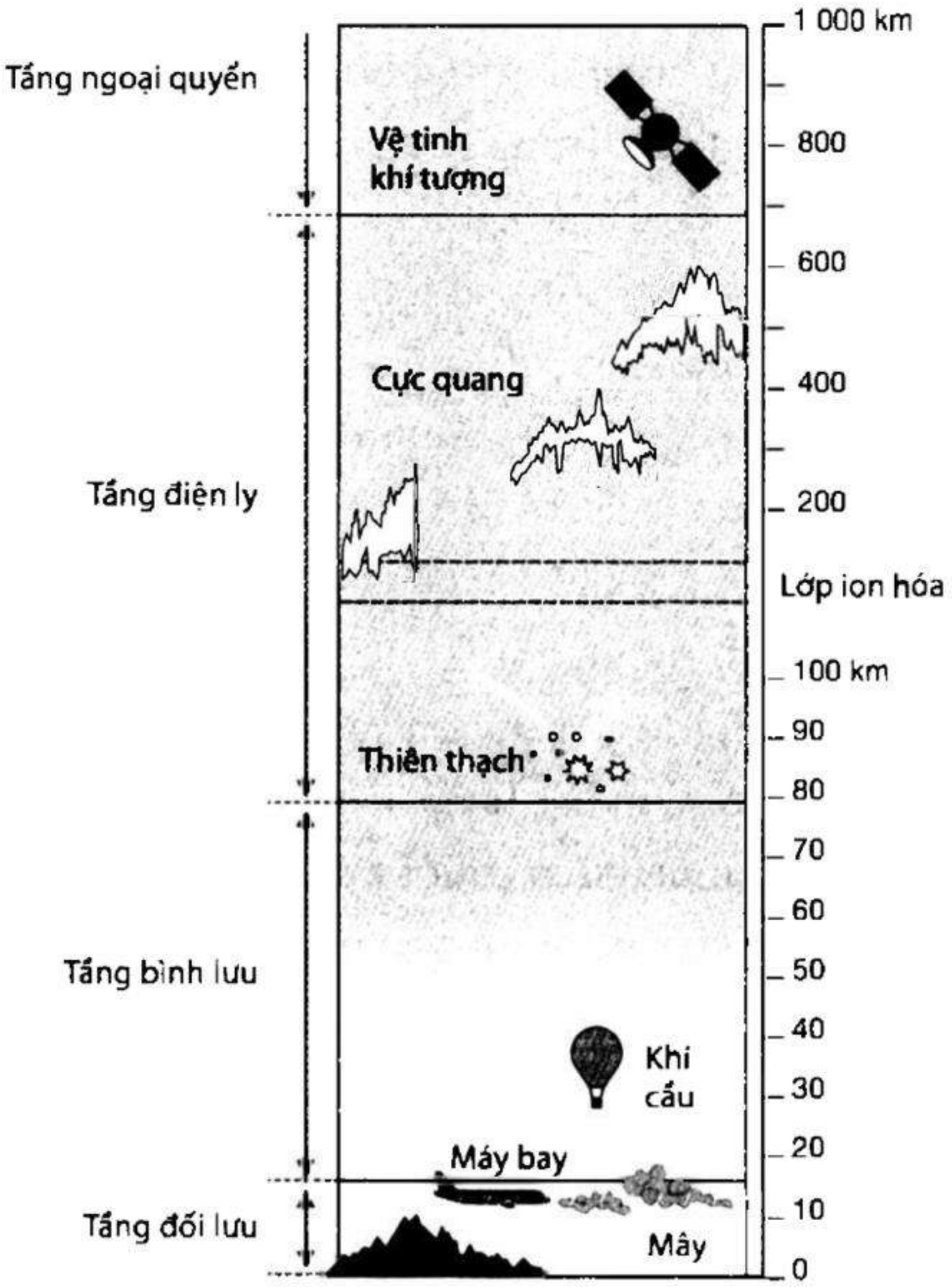
---

1 Đồng đủ cứng để chống lại áp suất đáng kể của không khí mà không bị biến dạng.

2 Các tia vũ trụ là các chùm hạt, chủ yếu là proton và neutron, có năng lượng cực lớn và được bắn vào không gian với tốc độ gần bằng tốc độ ánh sáng bởi các siêu tân tinh (cái chết bùng bổ của các ngôi sao lớn).

Khí quyển là chất thiết yếu mà chúng ta hít vào phổi. Không khí chúng ta hít thở chủ yếu bao gồm nitrogen (78% thể tích) và oxygen (21%), với một chút argon (0,9%) và carbon dioxide (0,03%). Tùy thuộc vào vị trí và điều kiện thời tiết, khí quyển cũng chứa một lượng hơi nước thay đổi (từ 0,1% trong sa mạc đến 3% ở vùng ẩm ướt). Không khí có thể nén được, như bất cứ ai đã từng bơm không khí vào một quả bóng đều nhận thấy. Trọng lượng của các tầng trên của không khí sẽ nén các tầng dưới, khí quyển có mật độ cao nhất trên mặt đất, và trở nên loãng dần theo độ cao. Do đó, trong khi khí quyển kéo dài đến 500 km bên trên bề mặt Trái Đất (xem hình trang sau) thì 99% khối lượng của nó nằm ở độ cao không đầy 30 km, tức là chỉ bằng 0,5% bán kính 6378 km của Trái Đất. Một nửa khối lượng của nó nằm dưới 5 km, tức là nhỏ hơn một phần nghìn bán kính Trái Đất. Nếu thu nhỏ hành tinh của chúng ta đến kích thước một quả cam, thì bầu khí quyển của nó sẽ mỏng hơn phần vỏ cam. Những người thường ở vùng núi đã quen thuộc với hiệu ứng loãng của không khí, kéo theo việc giảm oxygen theo độ cao. Và đó chính là lý do tại sao các đài thiên văn lớn luôn luôn đặt ở những nơi cao: để ánh sáng vũ trụ mà các kính thiên văn thu thập được ít bị ảnh hưởng nhất có thể bởi khí quyển của Trái Đất. Về phần mình, tôi thường đi đến Đài thiên văn Mauna Kea, một trong những nơi tốt nhất trên thế giới để nghiên cứu bầu trời. Nằm ở đỉnh một núi lửa đã tắt trên đảo Hawaii, đài thiên văn này ở độ cao hơn 4000 m. Tôi cảm nhận rất rõ sự thiếu oxygen, thỉnh thoảng nó gây cho chúng tôi những

cơn đau đầu dữ dội. Để chống lại những bất tiện này, tôi luôn đề phòng bằng cách đến đài thiên văn ít nhất một ngày trước để cơ thể thích nghi và làm dịu càng nhiều càng tốt "chứng say núi" này. Cũng vì lý do đó, người leo núi phải đeo mặt nạ oxygen khi tiếp cận những đỉnh núi cao nhất.



Các tầng khác nhau của khí quyển Trái Đất và những ví dụ về các vật có thể thường thấy ở các tầng này. Không khí loãng đi rất nhanh theo độ cao. Nếu ta du hành từ Trái Đất tới biên của vũ trụ quan sát được thì ta sẽ gặp nhiều vật chất ở 10 km đầu tiên (ở tầng đối lưu) hơn so với phần còn lại của hành trình.

Một số ví dụ có thể cho ta ý niệm về những khác biệt áp suất này. Sir Edmund Hillary, người chinh phục đỉnh Everest ở độ cao 8848 m, đã cảm thấy áp suất không khí ở đó ba lần nhỏ hơn một thủy thủ cảm thấy trên tàu của mình. Nói cách khác, ở đỉnh núi cao nhất của Trái Đất, thủy ngân sẽ chỉ dâng lên đến độ cao 0,25 m thay vì 0,76 m như ở mực nước biển. Ở độ cao 100 km, áp suất không khí nhỏ hơn một phần tỷ so với trên mặt đất. Leo lên đến 400 km, nó chỉ còn bằng một phần ngàn tỷ áp suất dưới đất. Áp suất khí quyển giảm theo độ cao giải thích lý do tại sao cabin máy bay, bay cao khoảng 10 km so với mực nước biển, phải được điều áp[1]. Nói cách khác, trong chuyến bay, một lực bằng vài tấn trên một mét vuông được đè lên cửa của máy bay từ bên trong, giữ nó đóng chặt.

Bạn sẽ làm gì khi đi đến chỗ mà gần như là chân không? Đối với những chuyến bay ra ngoài không gian, các phi hành gia mặc một bộ quần áo đặc biệt để bảo vệ họ khỏi tia vũ trụ và các thiên thạch nhỏ, cho phép họ thở và duy trì cơ thể ở một nhiệt độ thoải mái trong cái lạnh băng giá của không gian, nhưng vẫn cho phép họ có được độ linh hoạt nhất định. Áp suất trong bộ quần áo này chỉ bằng 1/3 so với trên Trái Đất, tương đương với áp suất trên đỉnh Everest. Không thể duy trì áp suất khí quyển như ở bề mặt Trái Đất bởi vì trong chân không, một bộ quần áo dưới áp suất này

---

[1] Quy định hàng không dân dụng quốc tế bắt buộc duy trì trong khoang chở khách một áp suất tương ứng với áp suất ở độ cao 2,5 km.

sẽ trở nên hoàn toàn cứng đơ[1], điều đó sẽ ngăn cấm bất kỳ chuyển động nào. Đây là điều nên tránh, nếu mục đích của việc đi ra bên ngoài không gian là để sửa chữa một bộ phận hỏng hóc của trạm quỹ đạo mà bạn đang ở!

Trời xanh và đêm đen

Ngoài việc bảo vệ và nuôi dưỡng sự sống, lớp khí quyển Trái Đất còn tặng cho chúng ta cảnh tượng tuyệt vời của không gian rộng lớn của bầu trời xanh vào ban ngày. Quang cảnh hành tinh chúng ta và bầu trời vào một ngày đẹp trời qua khoang cửa sổ của một chiếc máy bay ở độ cao 10 km trên mặt đất luôn là một cảnh tượng huy hoàng hiếm hoi. Vòm trời, những ngọn núi và những con sông dường như tan hòa trong một bản giao hưởng màu xanh. Tại sao bầu trời xanh, mà không trắng như ánh sáng mặt trời? Bởi vì các phân tử không khí trong bầu khí quyển lọc đi màu đỏ và màu vàng để ưu tiên khuếch tán ánh sáng màu xanh. Từ máy bay, bạn chắc đã thấy rằng bầu trời có màu đậm hơn so với nhìn từ mặt đất. Giải thích thật đơn giản: độ sáng của bầu trời được quyết định bởi số lượng các phân tử không khí nằm trên trục ngắm của chúng ta – càng nhiều phân tử không khí thì bầu trời càng sáng, và càng ít thì càng tối hơn. Bởi vì không khí càng loãng khi lên càng cao, nên sẽ có

---

[1] Độ rắn này là do áp suất phía bên trong bộ quần áo không gian tạo trên thành mà không có sự kháng cự nào từ áp suất bên ngoài.

ít phân tử không khí trên trục nhìn khi chúng ta nhìn qua khung cửa sổ của máy bay, do đó không khí sẽ ít sáng hơn, và bầu trời trông giống như có màu xanh đậm hơn. Nếu đẩy thí nghiệm đến cực hạn, tức loại bỏ tất cả các phân tử của không khí, sẽ không còn ánh sáng xanh khuếch tán để thắp sáng bầu trời nữa và nó sẽ trở thành tối đen. Điều này giải thích tại sao các phi hành gia, từ không gian hoặc từ bề mặt hoàn toàn không có không khí của Mặt Trăng, lại luôn nhìn thấy bầu trời đen như mực vậy.

Trái với những gì chúng ta nghĩ, không khí không phải là vô hình. Chúng ta luôn thấy nó qua màu xanh của bầu trời và những ngọn núi xa xôi. Nếu màu xanh khiến chúng ta xúc động một cách sâu sắc thì là bởi vì trực giác của ta cảm thấy rằng đó là màu của chất lưu có tầm quan trọng sống còn, màu của chất mà chúng ta hít vào phổi mình và giúp chúng ta duy trì sự sống. "Màu xanh là màu được Chúa chỉ định là nguồn mỹ vị!" nhà thơ người Anh John Ruskin đã thốt lên như thế. Khi nhìn lên bầu trời, tầm nhìn của chúng ta không bị mất hút trong vô tận. Ngược lại, nó gặp một lớp mỏng của bầu khí quyển màu xanh sáng, chiếu lên nền đen của không gian, giống như một loại chất dịch màng ối bảo vệ chúng ta khỏi sự giá lạnh và những tia sáng độc hại của không gian giữa các vì sao (hình 3 trong tập ảnh màu). Viễn cảnh hành tinh và vũ trụ mới mở ra từ thí nghiệm của Torricelli cũng nhấn mạnh tính dễ bị tổn thương của hành tinh chúng ta trong chân không vũ trụ và sự cô độc giữa các vì sao.

Không gian gần như trống rỗng

Ta đã thấy rằng không khí không phải là chân không vì có khí quyển của Trái Đất. Nhưng một câu hỏi đặt ra là: bản chất của không gian bên ngoài hành tinh của chúng ta là gì? Nó hoàn toàn trống rỗng hay có chứa vật chất? Trên thực tế, Trái Đất được bao quanh bởi một thứ gần như là chân không. Trong hành trình khoảng 384 ngàn km đến Mặt Trăng, ở mười km đầu tiên của lớp khí quyển trên Trái Đất, các nhà du hành vũ trụ thuộc phi hành đoàn Apollo đã di chuyển qua lượng vật chất lớn hơn nhiều so với cả hành trình còn lại của họ. Nhưng vũ trụ không phải là chân không. Ngày nay chúng ta biết rằng vật chất sáng của vũ trụ quan sát được phân bố trong một trăm tỷ thiên hà, mỗi thiên hà chứa khoảng một trăm tỷ mặt trời (tức các ngôi sao) có các hành tinh quay quanh. Mật độ trung bình của một ngôi sao giống như Mặt Trời hoặc một hành tinh giống Trái Đất là khoảng một gram mỗi centimet khối, tương đương khoảng một triệu tỷ tỷ (10^{24}) nguyên tử trên một centimet khối, nhiều hơn rất nhiều mật độ trung bình của vật chất trong vũ trụ. Thật vậy, nếu chúng ta chia đều toàn bộ vật chất sáng của trăm tỷ thiên hà trong thể tích của vũ trụ quan sát được, ta chỉ nhận được 0,025 nguyên tử hydrogen trên mỗi mét khối, tức là một không gian trống rỗng hơn cả những chân không cao nhất mà chúng ta có thể tạo ra trên Trái Đất (khoảng một trăm triệu nguyên tử trong một mét khối). Nhưng vật chất sáng chỉ chiếm 0,5% khối lượng và năng lượng trong vũ trụ. Thực tế, vật chất không phát sáng lớn gấp khoảng 10 lần (tức 4,5%), được gọi là "vật chất tối

thông thường". Nó được gọi là "thông thường" là bởi vì nó được tạo bởi cùng các nguyên tố (tức từ các proton, neutron và electron) như vật chất tạo nên các vật trong cuộc sống hằng ngày của chúng ta, như sách vở hay chậu hoa, chẳng hạn. Nhưng liệt kê như thế vẫn còn xa mới đủ. Chúng ta cũng biết rằng có 27% vật chất tối được gọi là "ngoại lai" (exotic). Sở dĩ gọi như thế là vì nó không được tạo ra từ vật chất bình thường tạo nên cơ thể chúng ta hay những cây mỹ nhân trên cánh đồng. Mặc dù vật chất ngoại lai này không phát sáng và hoàn toàn vô hình, nhưng các nhà thiên văn đã suy ra sự hiện diện của chúng từ lực hấp dẫn mà chúng tác dụng lên vật chất sáng. Bản chất của thứ vật chất này hiện vẫn còn giấu kín trong bức màn bí ẩn: bị tước mất ánh sáng, các nhà vật lý đúng là chìm trong bóng tối.

Cho đến nay, chúng ta đã kiểm kê được 32% lượng vật chất của vũ trụ (0,5% vật chất sáng, 4,5% vật chất tối thông thường và 27% vật chất tối ngoại lai). Thế 68% còn lại ở đâu? Chúng không được cấu tạo từ vật chất, mà là từ năng lượng tối sinh ra một lực phản hấp dẫn gây ra gia tốc giãn nở của vũ trụ. Bản chất của nó cũng rất bí ẩn[1], nghĩa là với tất cả hiểu biết của chúng ta, 95% nội dung của vũ trụ vẫn chưa được biết đến! Đây thực sự là một bài học về sự khiêm tốn mà vũ trụ dạy chúng ta. Thế không gian trống rỗng đến mức nào nếu chúng ta tính đến sự hiện diện của cả vật chất tối thông

---

[1] Để có thêm chi tiết về khối lượng và năng lượng của vũ trụ, xem thêm *Désir d'infini* (Khát vọng tới cái vô hạn, NXB Trẻ, 2014) của cùng tác giả.

thường, vật chất tối ngoại lai và năng lượng tối? Mật độ trung bình của vũ trụ khi đó là 5 nguyên tử/mét khối (được gọi là "mật độ tới hạn"), tức là một không gian hàng chục triệu lần trống rỗng hơn tất cả những chân không mà con người có thể tạo ra trên Trái Đất!

Như vậy, chúng ta đã điểm lướt qua vũ trụ chứa đựng những vật chất gì. Nhưng còn các bức xạ trong đó thì sao? Không gian giữa các vì sao và các thiên hà cũng chứa đầy ánh sáng tràn ngập toàn bộ vũ trụ và tạo thành cái gọi là "nền khuếch tán" của các bức xạ. Hầu hết (khoảng 90%) năng lượng của nền khuếch tán này là từ bức xạ nền (hay còn gọi là bức xạ hóa thạch), đó là ánh sáng nguyên thủy đến với chúng ta từ thuở xa xôi, giai đoạn có niên đại khoảng 380 nghìn năm sau Big Bang. Cùng với bức xạ nguyên thủy còn có thêm các loại ánh sáng khuếch tán khác từ các thiên hà và các ngôi sao. Chúng gồm ánh sáng gamma sinh ra từ các cơn hấp hối bùng nổ dữ dội của các ngôi sao nặng, ánh sáng X (tức tia X) được tạo ra bởi khí nóng của các đĩa kết tụ xung quanh những lỗ đen siêu nặng định cư ở tâm của các quasar và thiên hà với nhân hoạt động, ánh sáng hồng ngoại phát ra từ các hạt bụi được làm nóng bởi bức xạ năng lượng cao của các ngôi sao trẻ có khối lượng lớn, ánh sáng vô tuyến tạo ra từ các electron tự do chuyển động với tốc độ gần tốc độ ánh sáng xung quanh các đường sức từ nằm trong các thiên hà, chưa kể đến ánh sáng khả kiến và tia cực tím phát ra bởi tập hợp các ngôi sao và thiên hà. Nhưng tất cả những nguồn ánh sáng bổ sung này chỉ góp một phần rất nhỏ vào nền khuếch tán (khoảng một

phần mười so với bức xạ nền). Sự đóng góp của tất cả các nguồn ánh sáng vào năng lượng của vũ trụ chỉ bằng một phần mười ngàn so với vật chất. Do đó thực tế hoàn toàn có thể bỏ qua chúng. Chúng ta sống trong một vũ trụ mà hành vi của nó chủ yếu được quyết định bởi lượng vật chất mà nó chứa. Mật độ ánh sáng lớn hơn so với vật chất chỉ trong khoảng 50 ngàn năm đầu tiên của vũ trụ và bức xạ chiếm vai trò chủ đạo trong suốt thời kỳ này. Nhưng sau đó, vật chất đã chiếm ngôi và ánh sáng không còn góp tiếng nói nào nữa trong việc kiểm soát sự giãn nở vũ trụ.

Như vậy, vũ trụ về trung bình là cực kỳ trống rỗng. Nó như vậy bởi vì nó rộng lớn không thể tưởng tượng nổi[1]! Và ta có thể nói rằng chính sự rộng lớn của nó đã cho phép sự tồn tại của chúng ta. Thật vậy, chúng ta được tạo ra từ bụi các ngôi sao, mà vũ trụ thì cần thời gian cho các ngôi sao sinh ra, vận hành các lò luyện "giả kim thuật" hạt nhân của chúng và chết trong những vụ nổ kinh hoàng gọi là "siêu tân tinh". Những cơn hấp hối bùng nổ của các ngôi sao khổng lồ này phóng ra môi trường giữa các thiên hà các mảnh vụn của sao vốn giàu các nguyên tố hóa học nặng được tạo ra từ phản ứng nhiệt hạch ở trung tâm các ngôi sao đó. Thời gian cũng là điều cần thiết để những bụi sao này tập hợp lại dưới tác dụng của lực hấp dẫn nhằm sinh ra các hành tinh mà một ngày nào đó sẽ cưu mang sự sống và ý thức. Tất cả các quá trình vật lý này đòi hỏi ít nhất nhiều tỷ năm. Khoảng 13,8 tỷ năm trước, Big Bang

---

[1] Bán kính của vũ trụ quan sát được là 47 tỷ năm ánh sáng.

đã cho vũ trụ một cú giãn nở chớp nhoáng từ một trạng thái cực kỳ nhỏ, nóng và đặc. Kể từ đó, vũ trụ đã không ngừng lớn lên và loãng đi. Đó là lý do tại sao hôm nay nó lại trống rỗng đến như thế. Chắc chắn, chúng ta sẽ không có mặt ở đây để nói về vũ trụ nếu như nó ít trống rỗng hơn. Cái Không, vì vậy, có liên hệ chặt chẽ với sự sống.

Nhưng câu hỏi thì vẫn còn đó: ở những nơi không có vật chất, liệu không gian có phải là hoàn toàn trống rỗng không? Một khái niệm từ hơn hai mươi thế kỷ vẫn ám ảnh mọi tâm trí: ether, được Empedocles đưa ra vào thế kỷ 5 trước CN và được làm sống lại bởi Aristotle. "Tinh chất thứ năm" này nhẹ hơn tất cả các chất đã biết (không khí, nước, đất và lửa) và có mặt khắp vũ trụ. Nó sẽ lấp đầy không gian, bất kể có sự hiện diện của vật chất hay không. Liệu không gian bên ngoài hành tinh của chúng ta có chứa đầy chất vô hình này? Nhiều tiếng nói có ảnh hưởng, bao gồm cả Descartes, đã lên tiếng, như chúng ta đã thấy, chống lại giả thuyết này. Đối với tác giả của *Cogito*, một không gian không chứa vật chất không thể tồn tại. Việc công bố thuyết vạn vật hấp dẫn của Isaac Newton ở nửa sau thế kỷ 17 và công trình của người đồng hương của ông là James Maxwell về sóng điện từ vào thế kỷ 19 sẽ khôi phục lại cuộc tranh luận về ether.

III.

Về chân không và ether

Kepler và chuyển động của các hành tinh

Sau khi Giáo hội quản thúc Galileo tại gia vì đã dám ủng hộ hệ thống nhật tâm của Copernicus và tuyên bố dứt khoát rằng Trái Đất không phải là trung tâm của vũ trụ, hoạt động khoa học đã dịch chuyển về phía bắc châu Âu. Nhân vật tiếp theo bước lên sân khấu của thời kỳ những người xây dựng mô hình mới của vũ trụ là một người Đức tên là Johannes Kepler (1571-1630). Dựa trên những quan sát với độ chính xác cao chưa từng thấy của nhà thiên văn Đan Mạch Tycho Brahe (1546-1601), Kepler đã khám phá ra bí mật chuyển động của các hành tinh và lần đầu tiên đưa ra dạng toán học mà chúng ta biết ngày nay, và như thế, đã thiết lập thuyết Copernicus trên một nền tảng vững chắc.

Trước Kepler, thiên văn học chỉ thuần túy là mô tả: lập một bản đồ bầu trời, rồi theo dõi sự chuyển động của Mặt Trời, Mặt Trăng và các hành tinh theo thời gian, chứng tỏ rằng trong những chuyển động này có chu kỳ và các quy luật,

và dự đoán thời gian nhật thực, ngày xuân phân, và các ngày chí khác. Việc tự vấn về nguyên nhân vật lý của các chuyển động trên trời không phải là mối quan tâm của một nhà thiên văn học. Với Kepler, cách làm việc này đã thay đổi hoàn toàn. Điều gì làm cho một hành tinh càng xa Mặt Trời thì di chuyển càng chậm, và ngược lại, một hành tinh ở càng gần, thì chuyển động của nó càng nhanh? Ông tự hỏi. Quỹ đạo của Thổ tinh lớn hơn so với Mộc tinh khoảng hai lần (khoảng cách Thổ tinh-Mặt Trời lớn gấp 9,5 lần khoảng cách Trái Đất-Mặt Trời và gấp 5,2 lần khoảng cách Mộc tinh-Mặt Trời), nhưng Thổ tinh phải mất hơn gấp đôi thời gian cần thiết để hoàn thành cuộc hành trình của nó xung quanh Mặt Trời (29,5 năm) so với Mộc tinh (11,9 năm). Tại sao? Trong ấn bản đầu tiên của cuốn sách đầu tiên của ông, *The Cosmic Mystery* (*Bí ẩn của vũ trụ*), xuất bản năm 1596, Kepler đã dùng tới quan niệm thần bí để giải thích chuyển động của các hành tinh: "Chúng ta phải chọn giữa hai giả thuyết: hoặc các thần linh chịu trách nhiệm di chuyển hành tinh ở xa Mặt Trời hoạt động kém tích cực hơn, hoặc chỉ có một thần linh ở chính tâm của tất cả các quỹ đạo, tức là Mặt Trời, đẩy hành tinh mạnh hơn khi nó ở gần, và yếu hơn khi nó ở xa, bởi vì lực giảm theo khoảng cách." Nhà thiên văn học này đã lấy lại ý tưởng vũ trụ học thời trung cổ, theo đó chuyển động vĩnh cửu của các hành tinh được dẫn dắt bởi một Trí tuệ vĩ đại.

Nhưng trong ấn bản lần thứ hai của cuốn sách đó, năm 1621, Kepler đã sửa lại điều này: "Những thần linh này không tồn tại... Nếu thay thế từ "thần linh" bằng từ "lực", thì khi đó

chúng ta sẽ nhận được nguyên lý chi phối vật lý học của tôi về bầu trời... Tôi đã từng tin rằng động lực làm cho hành tinh chuyển động là một thần linh... nhưng khi thấy rằng nguyên nhân gây ra chuyển động giảm tỷ lệ với khoảng cách tới Mặt Trời, giống hệt như cường độ của ánh sáng Mặt Trời giảm theo khoảng cách, tôi đi đến kết luận rằng lực này phải là cái gì đó "thực thể" – "thực thể" không phải theo nghĩa đen, mà (...) theo cùng một cách mà chúng ta nói rằng ánh sáng là thực thể, theo nghĩa đối tượng phi thực thể này được phát ra từ một thực thể." Ở đây chúng ta thấy sự manh nha của khái niệm lực hiện đại. Trong tâm trí của Kepler, những khái niệm đầu tiên về vật lý hiện đại dần dần được hình thành từ các khái niệm thời trung cổ. Cùng với ông, chúng ta đang chứng kiến sự chuyển đổi chậm rãi và dần dần của một mô hình vật linh thành mô hình cơ học của vũ trụ.

Newton và không gian tuyệt đối

Những câu hỏi khác liên quan đến chuyển động của các hành tinh được mô tả bởi các định luật toán học chính xác của Kepler vẫn chưa được trả lời: tại sao hành tinh lại không theo quỹ đạo tròn như trước đây người ta nghĩ, mà lại là hình elip? Điều gì đã giữ chúng trên quỹ đạo của mình? Nguyên nhân chuyển động của chúng là gì? Tại sao chúng lại không rơi vào Mặt Trời? Vào thời Trung Cổ, người ta cho rằng các hành tinh không rơi vào Mặt Trời là vì chúng đã được khảm trên các tinh cầu trong suốt. Một đội quân các thiên thần dưới

sự chỉ huy của Đức Chúa Trời đã làm quay các mặt cầu này, từ đó giải thích được chuyển động của các hành tinh. Chính nhà bác học người Anh Isaac Newton (1642-1727), nhờ tài năng của mình, đã đưa ra những câu trả lời đích thực.

Năm 1665, chàng trai trẻ Newton vừa tốt nghiệp đại học Cambridge. Để tránh căn bệnh dịch hạch đang bùng phát ở đó, ông tạm lánh về ngôi nhà của mẹ ông ở vùng nông thôn Lincolnshire, miền nam nước Anh. Ở đó trong hai năm, chỉ bằng sức mạnh trí tuệ của mình, nhà vật lý trẻ đã làm thay đổi thế giới. Ông đã phát minh ra phép tính vi tích phân, đã có những khám phá cơ bản về bản chất của ánh sáng, nhưng trên hết, ông đã hoàn thành lý thuyết của mình về vạn vật hấp dẫn. Truyền thuyết kể rằng khi nhìn thấy một trái táo rơi xuống đất trong vườn nhà mẹ, trực giác của Newton đã bất chợt lóe sáng: chính lực hấp dẫn và duy nhất chỉ có nó là nguyên nhân gây ra sự rơi của trái táo cũng như chuyển động của các hành tinh xung quanh Mặt Trời hay Mặt Trăng xung quanh Trái Đất. Cứ như vung chiếc đũa thần, ông đã thống nhất trời và đất, chôn vùi vĩnh viễn tất cả các quan niệm của Aristotle cho rằng hai thế giới này bị chi phối bởi các định luật khác nhau, chuyển động tròn trên trời, nhưng lại là thẳng trên mặt đất.

"Mọi vật hút vật khác bằng một lực tỷ lệ với tích khối lượng của chúng và tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa chúng". Đó là phát biểu về định luật vạn vật hấp dẫn của một bậc thầy. Trong kiệt tác của mình, tác phẩm *Philosophiae naturalis principia mathematica* (*Những nguyên lý toán học*

của triết học tự nhiên), được xuất bản vào năm 1687, Newton không chỉ giải thích các đặc tính chuyển động của các hành tinh đã được Kepler phát hiện, mà còn cả cách thức mà Mặt Trăng gây ra hiện tượng thủy triều ở các đại dương trên mặt đất, rồi cả quỹ đạo elip của sao chổi và nhiều hiện tượng tự nhiên khác. Cuốn sách của ông mãi mãi vẫn là một trong những cuốn sách có ảnh hưởng nhất viết về vật lý học.

Vũ trụ của Newton là cơ học, nó giống như một chiếc đồng hồ lò xo mà ta chỉ cần lên dây cót một lần cho mãi mãi. Các chuyển động, một khi đã được kích hoạt, không còn cần phải can thiệp nữa dù là nhờ thần thánh hay cách nào khác. Một khi đã bắt đầu chuyển động, vũ trụ sẽ tự vận hành nhưng vẫn luôn tuân thủ định luật vạn vật hấp dẫn. Trong vũ trụ này, Chúa Trời có nhiều thời gian rảnh rỗi hơn so với vũ trụ thời trung cổ, vũ trụ được lấy cảm hứng từ vũ trụ Aristotle. Thay vì luôn phải giám sát đội quân các thiên thần chịu trách nhiệm đảm bảo cho các hành tinh và các thiên thể khác vận hành một cách trơn tru, Chúa Trời chỉ phải làm mỗi một việc là đẩy nhẹ vũ trụ một cú vào thuở ban đầu rồi sau đó để nó tự động vận hành.

Do vũ trụ của Newton giống như một chiếc đồng hồ được tra dầu hoàn hảo, mù quáng tuân theo một cách nghiêm ngặt các định luật tất định, không còn chỗ nào cho sự sáng tạo của tự nhiên. Đức Chúa, sau khi khởi động cho bộ máy của vũ trụ, đã rút ra xa, và không còn can thiệp gì vào công việc của trần thê nữa. Vì vậy, khi nhà vật lý người Pháp Pierre Simon de Laplace (1749-1827) giới thiệu cho Napoléon Bonaparte

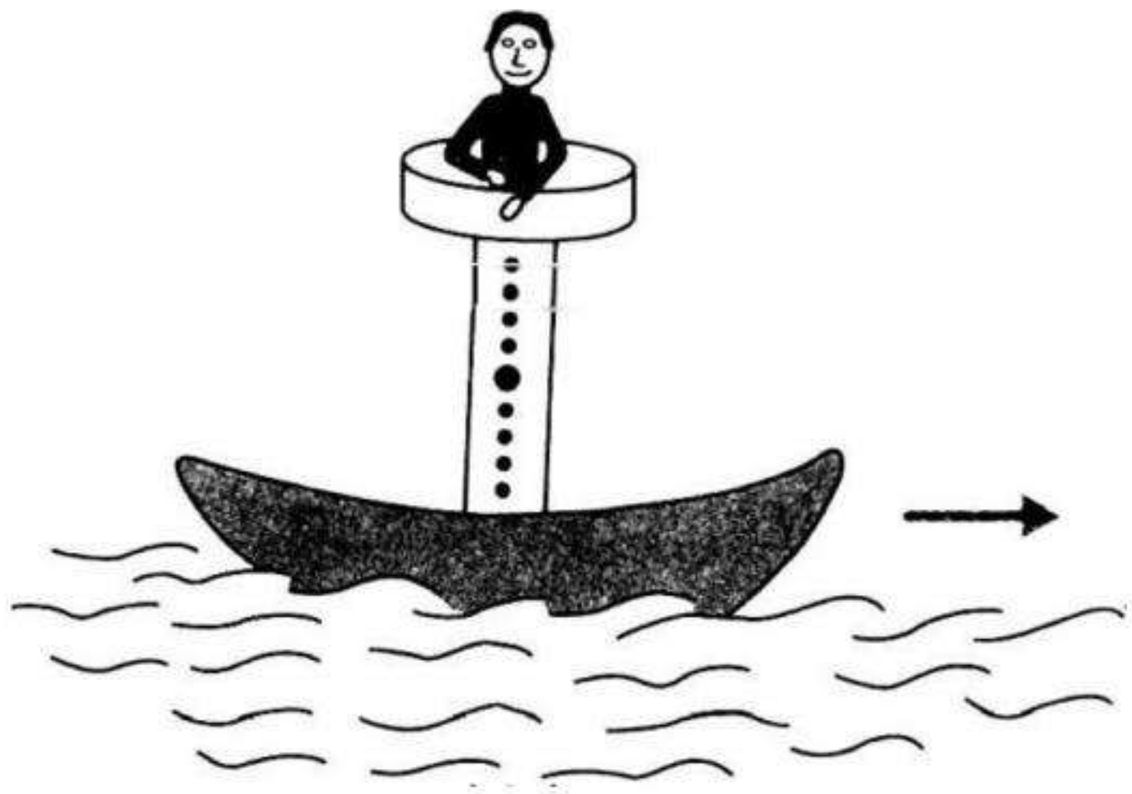
cuốn *Traité de mécanique céleste* (*Luận về cơ học thiên thể*) của ông, vị hoàng đế vĩ đại hỏi ông tại sao lại không nhắc gì đến Chúa cả, Laplace đã kiêu hãnh trả lời: "Thưa hoàng thượng, thần không cần đến giả thuyết này!" Newton đã trở thành biểu tượng của hệ tư tưởng thế tục mới, nơi mà khoa học đã thay thế tôn giáo.

"Chuyển động như không gì cả"

Newton giải thích chuyển động của các vật thể bằng cách đưa ra những định luật bề ngoài dường như rất đơn giản: "Mọi vật sẽ giữ nguyên trạng thái đứng yên hay chuyển động thẳng đều, trừ khi có một lực nào đó tác dụng lên nó, và buộc nó phải thay đổi trạng thái của mình." Nói cách khác, tự nhiên khá "lười nhác" và tuân theo nguyên tắc công tối thiểu: nếu tổng các lực tác dụng lên vật bằng không, thì vật sẽ đứng yên, bất động nếu như ban đầu nó ở trạng thái nghỉ; còn nếu nó đang chuyển động, thì nó vẫn sẽ tiếp tục di chuyển theo hướng cũ với cùng tốc độ. Chỉ tác dụng của một lực mới có thể thay đổi hướng hay tốc độ của vật, tức là tăng hoặc giảm tốc độ di chuyển của nó. Newton chỉ rõ rằng tăng tốc hoặc giảm tốc càng lớn khi lực tác dụng càng lớn và khối lượng của vật càng nhỏ. Thực tế, tất cả chúng ta đều ý thức được rằng khi đẩy với cùng một lực, thì để làm di chuyển một quả bóng bay sẽ dễ dàng hơn nhiều so với di chuyển một con voi.

Nhưng chuyển động là tương đối và chỉ có thể được định nghĩa từ một cái gì đó không di chuyển. Galileo là nhà khoa

học đầu tiên đã phát biểu một cách mạch lạc nguyên lý tương đối của chuyển động. Ông đã viết một cách đầy chất thơ vào năm 1632: "Nhốt mình cùng với một người bạn trong cabin chính trên một con tàu lớn và mang theo cả lũ ruồi, bướm, và những động vật nhỏ biết bay khác. Lấy một bốn nước lớn và thả một con cá trong đó, treo một chai nước nhỏ giọt vào một chậu chứa lớn bên dưới nó. Khi con tàu dừng, hãy quan sát kỹ xem những con vật nhỏ bay với tốc độ như nhau hướng tới tất cả các vách của cabin như thế nào. Con cá bơi theo mọi hướng, những giọt nước rơi xuống chậu chứa bên dưới, và nếu bạn tung một thứ gì đó cho người bạn, bạn không cần phải ném nó mạnh hơn ở một hướng này so với một hướng khác, các khoảng cách đều giống nhau, và nếu bạn nhảy chụm chân với nhau, bạn sẽ vượt qua cùng một khoảng cách theo mọi hướng." Ở đây, Galileo đã đề cập tới thực tế là không gian theo mọi hướng đều có cùng các tính chất, điều mà các nhà vật lý gọi là "tính đẳng hướng của không gian". Ông viết tiếp: "Khi bạn quan sát tất cả những điều này một cách cẩn thận (mặc dù không chút nghi ngờ gì về chuyện khi con tàu đứng yên, thì mọi thứ phải diễn ra như vậy), hãy cho thuyền chạy về phía trước theo tốc độ tùy ý, miễn là giữ tốc độ đều (tức là không đổi) và không lắc lư hai bên. Khi này bạn sẽ không nhận thấy bất kỳ thay đổi nào trong các hiệu ứng được đề cập ở trên và thậm chí không hiện tượng nào cho phép bạn có thể nói con tàu đang chuyển động hay đứng im..." Nói cách khác, các định luật chuyển động là như nhau trong con tàu đứng yên hay chuyển động đều.



Đứng yên và chuyển động thẳng đều. Vật được thả xuống sẽ rơi theo chiều thẳng đứng, bất chấp con tàu đứng yên hay chuyển động thẳng đều. Nói cách khác, loại thí nghiệm này không thể phân biệt được trạng thái đứng yên với chuyển động thẳng đều. Chúng ta chỉ có thể xác định được chuyển động của con tàu khi so với cái gì đó không di chuyển, chẳng hạn như phong cảnh bất động mà nó đi qua.

Không có thí nghiệm hay quan sát nào bên trong cabin, không nhìn ra đại dương, mà có thể cho biết tàu đang chuyển động hay đứng yên. Chỉ khi đi lên boong và nhìn thấy con tàu đang rẽ sóng thì ta mới có thể nói một cách chắc chắn rằng con tàu đang chuyển động so với đại dương bất động (hình trên). Và ông kết luận: "Chuyển động là chuyển động và nó xảy ra như là một chuyển động chỉ khi so với những thứ không có nó; nhưng đối với những thứ có liên quan đến các vật cùng tham gia chuyển động hoàn toàn như nhau, thì nó hoàn toàn không có tác động và giống như là không có vậy. Chuyển động như là không gì cả[1]!"

---

[1] Galileo Galilei, *Dialogue sur les deux grands systems du monde* (Đối thoại về hai hệ thống lớn của thế giới).

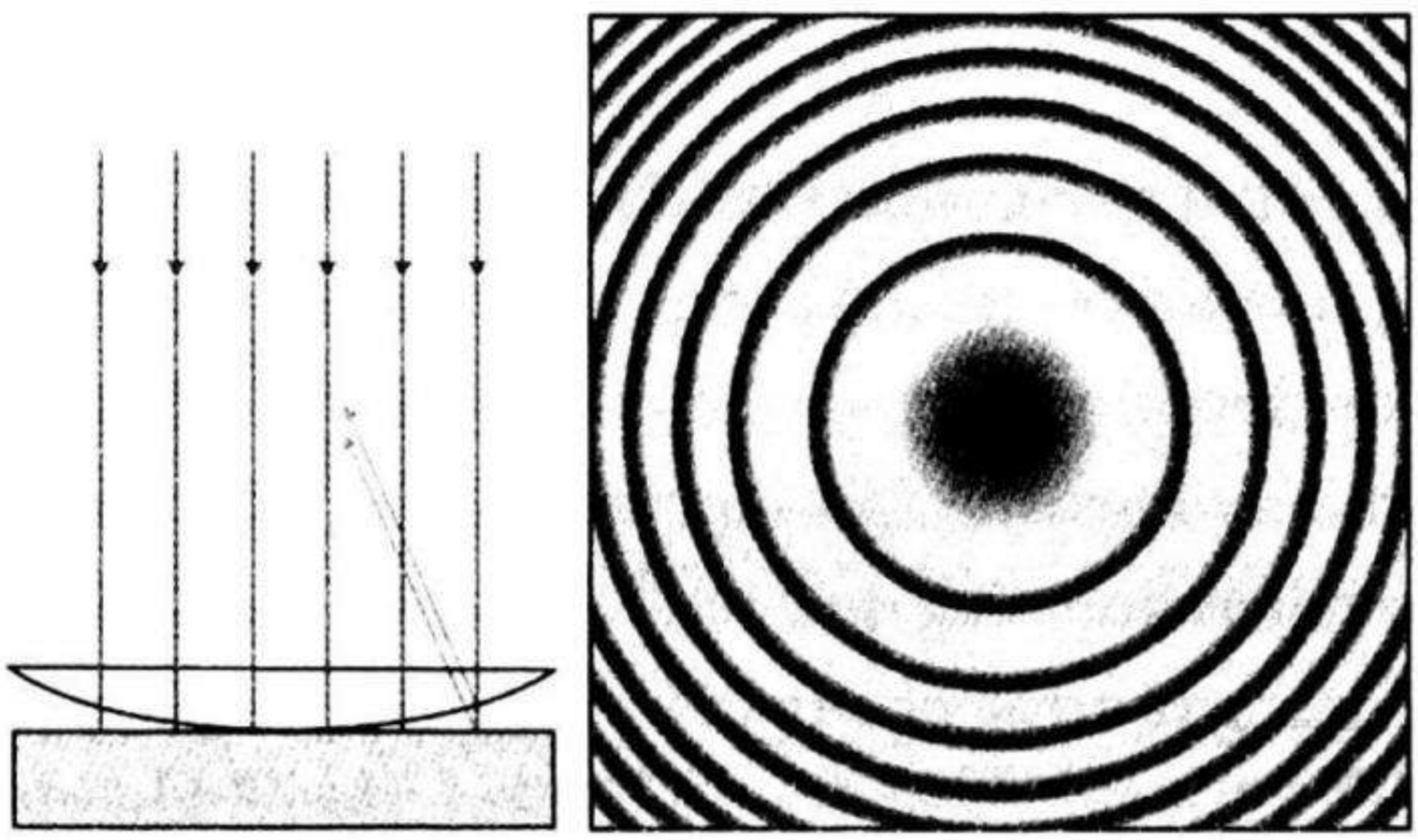
Do vậy, chúng ta chỉ có thể xác định chuyển động khi so với cái gì đó không di chuyển. Vào lúc đó, Newton đã đưa ra khái niệm không gian tuyệt đối để xác lập một hệ quy chiếu cố định, qua đó ông có thể xác định một cách chính xác các chuyển động (và vị trí) của các đối tượng trong không gian này. Đối với Newton, khi xe của ta vào cua quá nhanh là ta đã có gia tốc so với không gian tuyệt đối. Khi máy bay tăng tốc trên đường băng để cất cánh và có một lực ép chúng ta vào lưng ghế, chuyển động tăng tốc này cũng là so sánh với không gian tuyệt đối. Không gian này được xác định bởi ba chiều – trên và dưới, phải và trái, trước và sau – và tạo ra một kiểu sân khấu tĩnh trên đó diễn ra vở kịch vũ trụ của các thiên hà, sao, hành tinh và con người.

Ánh sáng là hạt hay sóng?

Trong tư duy của nhà vật lý người Anh và ngược lại với những gì Descartes nghĩ, không gian tuyệt đối này về nguyên tắc có thể tồn tại độc lập với mọi vật chất, nghĩa là nó hoàn toàn có thể trống rỗng. Vậy làm thế nào để giải thích được sự lan truyền của ánh sáng qua một không gian trống rỗng? Trên thực tế, trong các thí nghiệm của mình, Torricelli và Pascal đã nhận thấy rằng ánh sáng không gặp trở ngại gì khi vượt qua các khoảng chân không được tạo ra bên trong các ống thủy ngân: có thể dễ dàng nhìn thấy ánh lửa của ngọn nến xuyên qua khoảng chân không đó. Không giống âm thanh, ánh sáng dường như không cần không khí để lan truyền. Với nhiệt cũng

vậy. Newton là người ủng hộ mạnh mẽ cho lý thuyết hạt của ánh sáng. Đối với ông, các tia sáng chứa vô số các hạt ánh sáng lan truyền theo một đường thẳng qua không gian trống rỗng bằng cách đi theo nhau, như những chiếc ô tô trên một đường cao tốc. Nhờ mô hình hạt của mình, và bằng cách đưa ra các khái niệm lấy cảm hứng từ thuyết vạn vật hấp dẫn, Newton đã giải thích được các định luật cơ bản của quang học, chẳng hạn như phản xạ và khúc xạ.

Bất chấp thành công này, một số vấn đề phiền toái vẫn chưa giải thích được. Nhất là một thí nghiệm đặc biệt, do chính Newton thực hiện, làm ta phải suy nghĩ. Khi nhà vật lý đặt một thấu kính lên trên một tấm kính và chiếu sáng toàn bộ bằng ánh sáng đơn sắc (một màu), ông phát hiện một hiện



Vân tròn Newton. Khi nhà vật lý chiếu sáng một thấu kính đặt trên tấm kính bằng một nguồn ánh sáng đơn sắc (trái), ông phát hiện ra rằng ánh sáng tạo thành một loạt các vòng tròn đồng tâm có màu tối và sáng xen kẽ nhau (phải). Hiện tượng này không thể giải thích được nếu ánh sáng có dạng hạt như Newton nghĩ.

tượng quang học đáng ngạc nhiên: xuất hiện nhiều vòng tròn đồng tâm (nay gọi là các "vân tròn Newton") với màu tối và sáng xen kẽ nhau (hình). Đương nhiên, Newton giải thích các vân tối là những nơi mà ánh sáng đã bị chặn và phản xạ bởi thấu kính, còn các vân sáng là nơi ánh sáng có thể vượt qua được. Nhưng làm thế nào giải thích được tại sao một hạt ánh sáng đến bề mặt của thấu kính đôi khi được phản xạ, đôi khi lại được tự do tiếp tục chuyển động?

Tuy nhiên thuộc tính kỳ lạ này của ánh sáng có thể giải thích được nếu ánh sáng không phải là dạng hạt, mà là dạng sóng. Chính một người cùng thời với Newton, nhà vật lý người Hà Lan Christian Huygens (1629-1695), đã vinh dự là người đầu tiên đưa ra lý thuyết sóng của ánh sáng. Ông có rất nhiều đóng góp đáng kể cho khoa học, cả về mặt thực nghiệm và lý thuyết, trong các lĩnh vực đa dạng nhất. Năm 1666, ông được vua Louis XIV và Colbert mời tới Paris để thành lập Viện Hàn lâm Khoa học, mà ông là thư ký đầu tiên. Là người theo đạo Tin Lành, ông rời khỏi thủ đô nước Pháp để trở về Hà Lan năm 1685, sau khi sắc lệnh Nantes bị thu hồi.

Đối với Huygens, ánh sáng không thể có dạng hạt. Nếu một tia sáng là chùm các hạt vật chất, nó sẽ va chạm với một chùm hạt khác khi hai tia này giao nhau. Mà thực tế lại không phải như vậy. Đối với ông, ánh sáng giống như một sóng lan truyền trong không gian, như sóng tạo ra khi ném một hòn đá xuống ao lan trên mặt nước. Nhưng nếu ánh sáng có bản chất sóng, thì không gian không thể là trống rỗng được: như các con sóng lan truyền trên bề mặt đại dương, sóng ánh sáng

cần một chất liệu nền để lan truyền. Đối với Huygens, nền này là một chất tinh tế, huyền bí và không cảm nhận được, choán đầy không gian, một chất lưu giả định, khôn lường và đàn hồi mà Aristotle gọi là "ether". Theo Huygens, ether này không liên quan gì đến không khí cả. Nếu bạn đặt một cái chuông vào bình và hút tất cả không khí chứa trong bình ra bằng một máy hút chân không, bạn sẽ không thể nghe tiếng chuông, bởi vì âm thanh cần không khí để lan truyền. Trái lại, bạn vẫn luôn nhìn thấy chuông vì ánh sáng là một sóng đi qua cái được gọi là ether, chất này không hề bị ảnh hưởng bởi việc bơm hút.

Vậy sóng ánh sáng được sinh ra như thế nào? Theo Huygens, một nguồn sáng chứa vô số hạt dao động. Chúng truyền sự dao động của mình tới các hạt ether liền kề dưới dạng các sóng hình cầu có tâm tại mỗi hạt dao động đó. Các sóng cầu này lan truyền, và bán kính hoạt động của chúng tăng theo thời gian. Chúng sẽ chồng chập lên nhau và tính hỗn độn của tổng các sóng đó khi ở gần nguồn ánh sáng sẽ giảm dần khi các sóng di chuyển ra xa. Càng xa nguồn sáng, sóng tổng hợp càng trở nên mịn và đều hơn.

Nhà vật lý người Hà Lan này đã cố gắng một cách đầy khó khăn để truyền bá lý thuyết sóng ánh sáng của mình. Ông đã tìm thấy một đồng minh, một người Anh tên là Robert Hooke (1635-1703), học giả kỳ cựu và nổi tiếng của Hội Hoàng gia, người có nhiệm vụ chuẩn bị các thí nghiệm để phục vụ cho những cuộc tranh luận của các thành viên đáng kính của Hội khoa học lừng danh này. Trong khi nghiên cứu chi tiết các

màu sắc được tạo ra bởi các lớp vật liệu rất mỏng, chẳng hạn như thành của bong bóng xà phòng hoặc hai tấm kính mỏng ép vào nhau, Hooke nhận ra rằng bằng cách thay đổi độ dày của lớp không khí giữa hai tấm kính, các vòng tròn màu xuất hiện theo cùng thứ tự như các màu của cầu vồng, điều mà ông có thể giải thích khi dùng lý thuyết sóng ánh sáng. Nhưng những ý tưởng này không được chú ý, chúng bị cuốn trôi và nhấn chìm bởi cơn thủy triều của sự ủng hộ nhiệt thành đối với những ý tưởng về tính hạt của Newton.

Liệu ether có truyền được lực hấp dẫn?

Dẫu thế nào thì lý thuyết sóng ánh sáng cũng đã tái lập khái niệm ether. Và thậm chí nếu người ta ưa thích lý thuyết hạt của Newton hơn lý thuyết sóng này, thì câu hỏi về ether cũng vẫn được đặt ra trong một bối cảnh khác, đó là việc truyền lực hấp dẫn từ vật này sang vật khác trong quan niệm vạn vật hấp dẫn của chính Newton. Bằng cách đưa ra một lực hút hấp dẫn giữa các vật, Newton đã tính toán rất chính xác chuyển động của Mặt Trăng xung quanh Trái Đất và của các hành tinh xung quanh Mặt Trời. Quan niệm này cũng mô tả rất đúng hành vi của tự nhiên mà hai nhà khoa học, một người Anh tên là John Adams (1819-1892) và một người Pháp tên là Urban Le Verrier (1811-1877) đã sử dụng vào năm 1846, chỉ bằng tính toán, đã khám phá ra một hành tinh mới trong hệ Mặt Trời là Hải Vương tinh. Nhưng Newton vẫn chưa hình dung được một cách thật tỏ tường cơ chế truyền lực hấp dẫn

này. Tuy nhiên, ông nhận thức rất rõ rằng cần thiết phải có một tác nhân truyền. Thật vậy, nếu lực hấp dẫn được truyền đi xa trong chân không mà không cần sự giúp đỡ của bất kỳ một trung gian nào, có nghĩa là sự truyền của nó là tức thời và tốc độ lan truyền qua chân không là vô hạn, điều mà Newton không thể chấp nhận. Theo ông, "không thể nào chấp nhận một vật thô, vô tri vô giác, không thông qua sự trung gian của cái gì, lại có thể tác động và ảnh hưởng đến một đối tượng khác mà hai bên không có bất kỳ sự tiếp xúc nào với nhau... Lực hấp dẫn phải do một tác nhân hoạt động thường xuyên liên tục theo một số định luật nhất định gây ra". Nhưng ông đã không nêu ra được bản chất của tác nhân này và "để lại cho độc giả tự quyết định xem liệu tác nhân này là vật chất hay phi vật chất[1]".

Liệu ether có thể đóng vai trò là tác nhân truyền lực hấp dẫn không? Newton đã cố gắng dung hòa mô hình hạt của ánh sáng với sự tồn tại của một môi trường như vậy. Ông tưởng tượng các hạt ánh sáng mà một nguồn sáng sẽ phóng vào ether. Lực hấp dẫn sẽ gia tốc các hạt này cho đến khi lực gia tốc cân bằng chính xác với lực cản do ether tạo ra, các hạt ánh sáng sau đó sẽ chuyển động với tốc độ không đổi. Nhưng mô hình này không mấy thuyết phục bởi vì cần phải có một lực đáng kể để gia tốc các hạt từ tốc độ bằng không đến tốc độ ánh sáng (300 ngàn km/s). Và nếu thừa nhận

---

[1] Thư gửi Mục sư Richard Bentley, người mà Newton đã có những trao đổi thư từ thân thiết để thảo luận các vấn đề thần học.

ether tồn tại thì các tính chất của nó là gì? Newton nghĩ rằng nó phải "loãng hơn và tinh tế hơn không khí" để không gây ảnh hưởng tới chuyển động của các thiên thể. Những ý tưởng của ông về ether không ngừng phát triển. Trong khi ông không đề cập gì đến nó trong ấn bản đầu tiên của tác phẩm *Principia* (*Nguyên lý*) năm 1687, thì ở lần tái bản thứ nhất năm 1713, ông viết ở cuối sách: "Và bây giờ chúng ta phải thêm vào một thứ rất tinh tế, có mặt ở khắp mọi nơi và ẩn giấu trong tất cả các vật thể lớn. Nhờ lực và tác động của chất này, các hạt trong những vật thể đó có thể hút nhau ở khoảng cách ngắn, và tập hợp lại cứ như là chúng chạm vào nhau vậy; các vật tích điện có thể hoạt động ở khoảng cách lớn hơn, chúng đẩy hoặc hút các hạt lân cận; và ánh sáng có thể được phát ra, phản xạ, khúc xạ, nhiễu xạ, và làm nóng các vật thể." Đối với ông, ether cho phép ta hiểu được lực hấp dẫn, nhiệt, ánh sáng và âm thanh được truyền đi như thế nào. Năm 1717, ông trở lại câu hỏi này trong ấn bản lần thứ hai của cuốn *Opticks* (*Quang học*), ở đó ông gợi ý rằng ether phải gồm các hạt đủ nhỏ để không nhìn thấy được. Mặt khác, ông giải thích lực hấp dẫn bằng cách thừa nhận rằng ether trong các vật thể lớn – chẳng hạn Mặt Trời và các hành tinh – là loãng hơn so với các vật thể nhỏ. Sở dĩ tồn tại lực hấp dẫn là bởi vì các vật thể có khuynh hướng di chuyển từ những nơi ether có mật độ cao đến những nơi có mật độ thấp hơn. Nhưng bất chấp mọi nỗ lực của mình, Newton không bao giờ thành công đưa ra được một lý thuyết về ether làm ông thỏa mãn.

Young và phương trình kỳ lạ "sáng + sáng = tối"

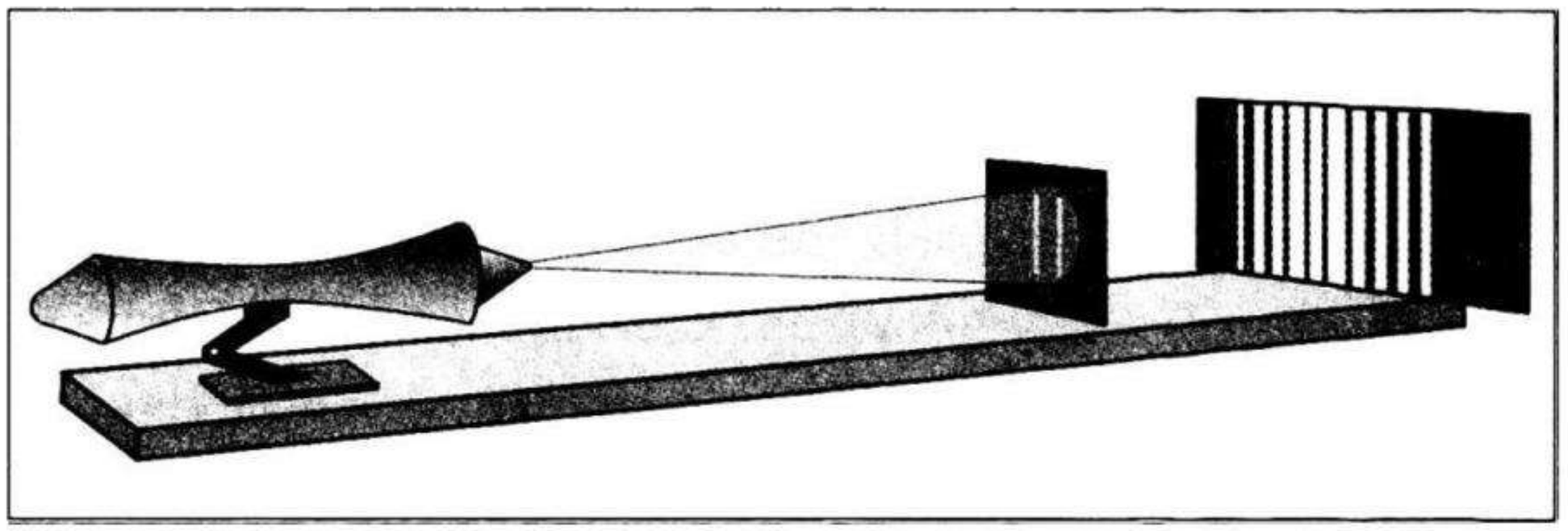
Sau khi cuốn *Opticks* xuất bản năm 1704, và trong suốt phần còn lại của thế kỷ 18, người ta không thể thảo luận về ánh sáng mà không tỏ rõ thái độ đối với những ý tưởng của Newton. Hai phe được hình thành, những người theo Newton ở một bên, và những người chống Newton ở bên kia. Nhưng phải nói rằng phần lớn những người chống Newton ít phản đối các hiện tượng quang học, mà chủ yếu phản đối quan điểm triết học cơ giới của ông về thế giới, một thế giới mà Chúa không có vai trò gì ngoài việc cho cú hích ban đầu.

Trong suốt thế kỷ 18, lý thuyết hạt của Newton gần như thống trị một cách tuyệt đối. Nhưng quan niệm ánh sáng như một sóng cũng sống rất dai dẳng. Trong khi được cho là đã hấp hối, nó vẫn không ngừng tái xuất như con phượng hoàng tái sinh từ đống tro tàn. Một nhân vật mới sẽ bước lên sân khấu, và sẽ mang lại thêm nhiều lý lẽ cho lý thuyết này. Đó là nhà vật lý người Anh Thomas Young (1773-1829). Young là một thiên tài quan tâm đến mọi thứ: từ khoa học tới hội họa, âm nhạc cũng như Ai Cập học (ông có đóng góp quan trọng vào việc giải mã chữ tượng hình trên phiến đá Rosetta, độc lập với công trình của nhà Ai Cập học người Pháp Jean-François Champollion). Nhưng hậu thế ghi nhớ tên tuổi của Young chủ yếu là nhờ một thí nghiệm cơ bản về ánh sáng mà ông tiến hành tại Hội Hoàng gia Anh năm 1801, thí nghiệm được gọi là "các vân giao thoa".

Young là người Anh đầu tiên cả gan công khai thách thức uy tín to lớn của bậc tiền bối lỗi lạc, người đầu tiên có can đảm

tấn công tượng đài quốc gia Newton. Ông đặc biệt tập trung chú ý tới cái mà ông coi là gót chân Achilles của thuyết hạt ánh sáng, đó là hiện tượng gọi là "nhiễu xạ" được phát hiện bởi một thầy tu dòng Tên người Italy tên là Francesco Maria Grimaldi (1618-1663). Ông đã phát hiện ra rằng nếu đục một khe nhỏ trên vách của một buồng tối, chùm sáng đi vào đó, một khi đi qua khe, sẽ bị nhiễu xạ, nghĩa là nó loe rộng ra và chiếu một quầng sáng có cường độ thấp hơn trên một diện tích lớn hơn so với trường hợp nếu ánh sáng là các hạt chuyển động chỉ theo đường thẳng. Nói cách khác, đường đi của ánh sáng phải bị chệch hướng sau khi đi qua khe. Giả sử bây giờ, Young nghĩ, chúng ta không chỉ tạo một khe duy nhất mà là hai, ở rất gần nhau thì sao. Mỗi khe sẽ tạo một quầng sáng rộng. Điều gì sẽ xảy ra trong vùng mà hai quầng sáng chồng lên nhau? Young đặt một màn đằng sau hai khe để quan sát vùng giao nhau này. Những gì ông quan sát thấy thật đáng kinh ngạc!

Về mặt tiên nghiệm mà nói, người ta có thể nghĩ rằng việc thêm ánh sáng vào ánh sáng sẽ chỉ luôn tạo ra một vùng sáng sáng hơn mà thôi. Nhưng ở đây lại không như thế: Young nhận thấy vùng có hai chùm ánh sáng chồng lên nhau, đúng là có chứa các dải sáng hơn, nhưng trái với mọi mong đợi, ở đây cũng có các dải tối không có chút ánh sáng nào, xen kẽ với các dải sáng (hình). Nói cách khác, ở một số nơi của màn, thêm ánh sáng vào ánh sáng lại tạo ra bóng tối! Nó giống như việc bạn mua hai cái đèn để làm cho phòng sáng hơn, và khi bật chúng cùng một lúc, hãy nghĩ xem bạn sẽ ngạc nhiên đến mức nào khi nhìn thấy các vệt tối đen ở một số nơi trong phòng!



Thí nghiệm hai khe của Young. Ánh sáng của một chùm sáng xuyên qua hai khe song song và chiếu lên một màn phía sau, tạo thành một dãy các dải dọc song song sáng tối xen kẽ nhau gọi là các "vân giao thoa". Chúng chỉ có thể giải thích được nếu như ánh sáng có tính chất sóng.

Làm thế nào để giải thích hiện tượng kỳ lạ này? Young nhận ra rằng một mô tả thuần túy dựa trên tính hạt của ánh sáng không bao giờ đưa ra được lời giải thích thỏa đáng. Bởi vì theo lý thuyết này, việc thêm các hạt ánh sáng vào các hạt khác, theo logic, chỉ có thể dẫn đến một số lượng lớn hơn các hạt, tức là một vùng sáng hơn. Ngược lại, phương trình kỳ lạ "sáng + sáng = tối" có thể được hiểu ngay khi ánh sáng là một sóng với các đỉnh và hõm giống như sóng trên bề mặt đại dương. Để hiểu điều này, chúng ta hãy xem xét quá trình hai sóng ánh sáng có cùng tần số, nghĩa là có cùng số đỉnh hoặc hõm, đi qua một điểm không gian trong một giây đến một điểm của màn cùng một thời điểm. Có hai trường hợp xảy ra: hoặc hai sóng cùng pha, đỉnh của chúng đến cùng một thời điểm, biên độ của chúng được cộng vào và điểm đó trên màn sáng sẽ gấp hai lần; hoặc là chúng ngược pha, đỉnh của một sóng đến cùng thời điểm với hõm của sóng kia, biên độ của

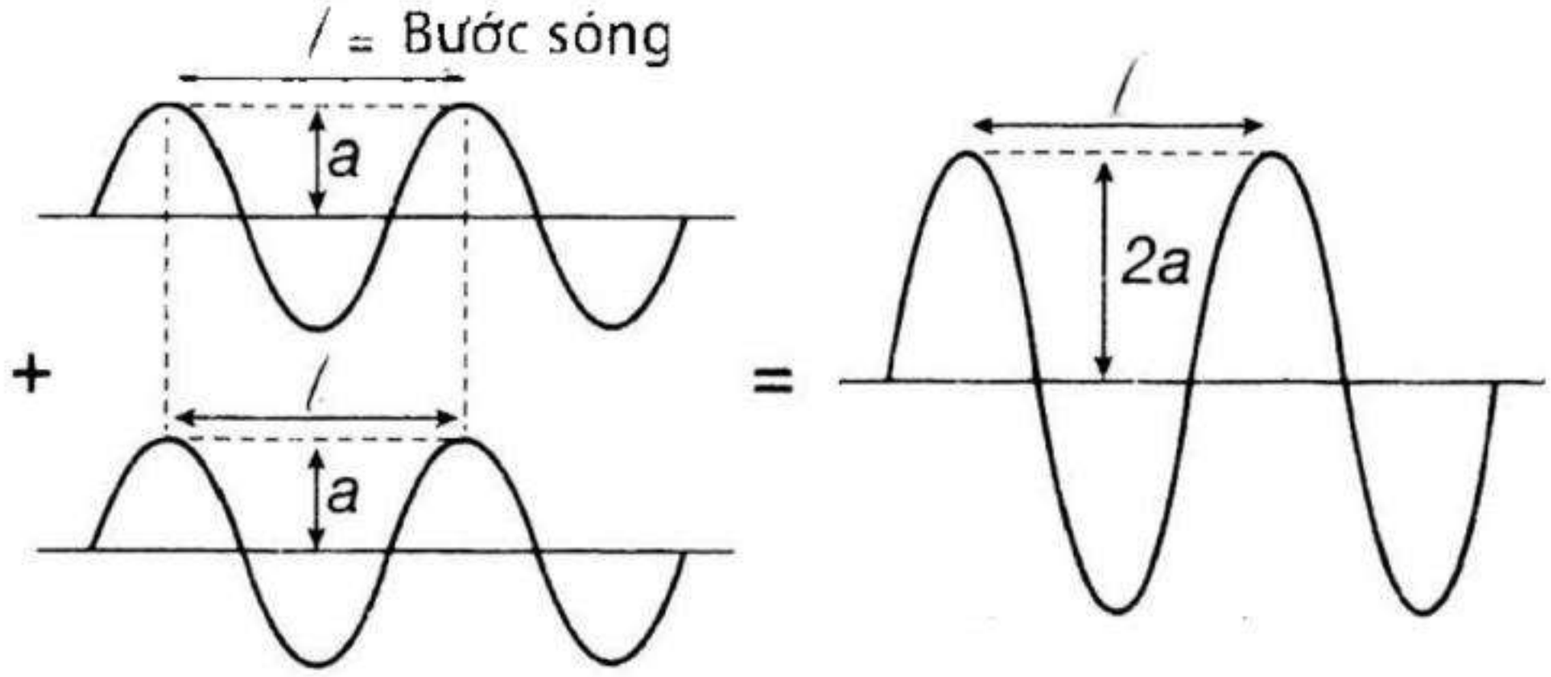
chúng triệt tiêu nhau và điểm trên màn hình sẽ là tối (hình trang sau). Sự chồng chập của sóng ánh sáng cùng tần số được gọi là "giao thoa", và các dải sáng và tối xen kẽ nhau do sự giao thoa này gây ra gọi là "vân giao thoa"[1].

Young mạnh mẽ bảo vệ bản chất sóng của ánh sáng. Khi làm như vậy, ông cũng là người biện hộ cho ether, chất bắt buộc phải có để giải thích sự truyền sóng ánh sáng. Tuy nhiên, không gì có thể làm suy yếu uy tín to lớn của Newton. Nhà khoa học trẻ đã bị chỉ trích nặng nề (và không công bằng) ở một số nơi và các công trình của ông bị chối bỏ. "Thật khó có thể xem xét nghiêm túc một tác giả mà tâm trí chỉ quan tâm đến một môi trường có bản chất rung động thất thường đến như vậy, (...) một tác giả không biểu hiện một dấu hiệu nào là người hiểu biết, sáng suốt hay khéo léo đặng có thể bù đắp cho sự thiếu hụt rõ ràng của mình về khả năng tư duy một cách chắc chắn." Những ý kiến về bản chất hạt của ánh sáng không phát triển thêm được một mảy may nào sau thí nghiệm về các vân giao thoa của Young – thậm chí còn không ai cất công thử làm lại, kể cả ở Anh hay ở Pháp.

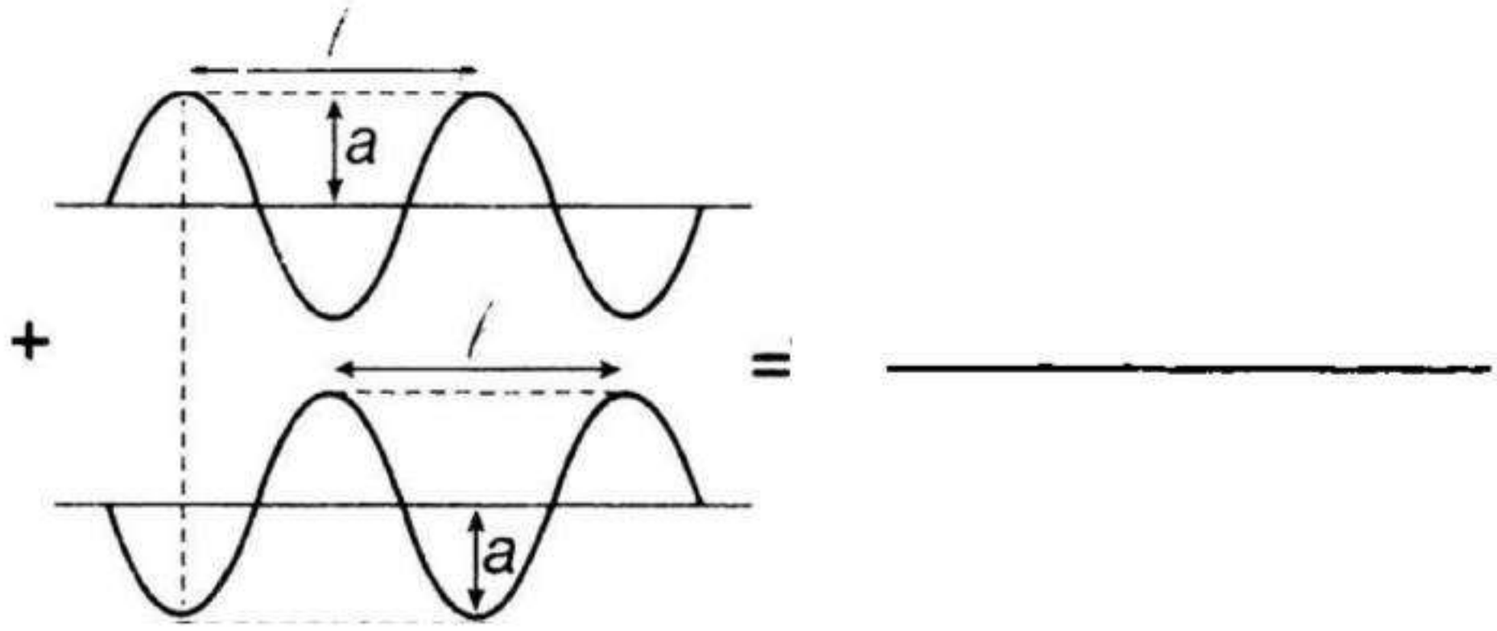
---

[1] Để tạo ra vân giao thoa, cần thiết phải pha trộn hai chùm sáng có cùng tần số. Trong thực tế, người ta chia ánh sáng đến từ cùng một nguồn sáng thành hai chùm khác nhau. Trong trường hợp hai đèn chiếu sáng một buồng, hai chùm ánh sáng không cùng tần số vì chúng không đến từ cùng một nguồn sáng. Đó là lý do tại sao bạn không có cơ hội nhìn thấy những vệt tối trong phòng của mình khi thắp sáng cùng một lúc hai bóng đèn!

a) Giao thoa tăng cường nhau



b) Giao thoa triệt tiêu nhau



Giải thích các vân giao thoa. a) Khi hai sóng ánh sáng đồng pha đi đến cùng một điểm trong không gian, đỉnh và hõm của chúng trùng chính xác với nhau thì xảy ra sự giao thoa tăng cường nhau: chúng được cộng lại, tạo ra một sóng có biên độ lớn hơn, tức là ánh sáng có cường độ mạnh hơn. b) Trái lại, khi hai sóng lệch pha nửa bước sóng (tức ngược pha nhau), sao cho các đỉnh (và hõm) của một sóng trùng với các hõm (và đỉnh) của sóng kia, sẽ có một sự giao thoa hủy nhau: chúng triệt tiêu nhau và kết quả là vân tối.

Fresnel và tính rắn của ether

Young không thể áp đặt những ý tưởng của mình vào bản chất sóng của ánh sáng bởi vì ông đã không phát triển sâu hơn nữa những ý tưởng ấy. Nhưng trên hết, ông không biết làm thế nào để đưa ra một nền tảng toán học chặt chẽ cho nguyên lý giao thoa của mình. Vinh dự này thuộc về một sinh viên trường Bách khoa Paris tên là Augustin Fresnel (1788-1827) (hình trên). Không đọc được ngôn ngữ của Shakespeare và hoàn toàn không biết gì về các công trình của Young, Fresnel đã khám phá lại một cách độc lập tất cả các kết luận của nhà vật lý người Anh này. Ông cùng với nhóm các kỹ sư trường Cầu-Đường ở gần trường Bách khoa, tự phong là người bảo vệ vững chắc cho lý thuyết sóng ánh sáng, đã viện đến nguyên lý tiết kiệm của tự nhiên để bảo vệ quan điểm của mình: "Chắc chắn khó có thể khám phá ra lý do của sự tiết kiệm đáng khâm phục này... Nhưng ngay cả khi nguyên tắc chung của triết học khoa học này không trực tiếp dẫn đến Chân lý, nó vẫn có thể hướng dẫn những nỗ lực của lý trí để loại bỏ những sơ đồ liên kết các hiện tượng với quá nhiều nguyên nhân khác nhau, đồng thời lại dẫn dắt nó hướng tới những sơ đồ, dựa trên một số tối thiểu các giả thiết, nhưng lại có những hệ quả phong phú nhất[1]." Theo

---

[1] Augustin Fresnel, "Hồi ký về nhiễu xạ ánh sáng", in trong *Mémoires de*

Fresnel, lý thuyết hạt ánh sáng không thể đúng vì nó không phù hợp với nguyên lý tiết kiệm của tự nhiên. Thật vậy, để giải thích hiện tượng nhiễu xạ được phát hiện bởi cha Grimaldi, lý thuyết hạt đã phải bổ sung một giả thuyết mới: Newton đã buộc phải đưa ra một lực làm lệch các hạt ánh sáng khi chúng đi qua khe, nhưng lại cho rằng không có lực nào tác động giữa chúng.

Fresnel thành công tại nơi mà Young thất bại, bởi lẽ, thay vì ngôn ngữ trực giác và vật lý của nhà bác học người Anh, nhà vật lý người Pháp nhờ được đào tạo bài bản về toán học tại trường Bách khoa, đã mô tả lý thuyết sóng ánh sáng và nguyên lý giao thoa bằng ngôn ngữ toán học chính xác, tạo cho nó một nền tảng vững chắc hơn rất nhiều. Các chứng minh của ông thuyết phục đến mức ông đã đánh lui lý thuyết hạt của Newton và những người kế nhiệm để bảo vệ cho lý thuyết sóng. Trong lúc đó, khi làm quen với các công trình của Young, Fresnel đã không ngần ngại viết thư cho nhà bác học người Anh: "Tôi đã nhiều lần thừa nhận trước công chúng rằng các nghiên cứu của ông là có trước." Young cũng *fair-play* không kém, ông sẵn sàng thừa nhận rằng những khám phá của nhà khoa học người Pháp không liên quan gì tới các công trình của mình, mà chúng là độc lập và độc đáo: "Tôi rất vui khi lần đầu được nghe một công trình quang học

---

l'Académie des sciences (Kỷ yếu của Viện Khoa học), 5, 1821. Nguyên lý tiết kiệm được Fresnel mô tả gợi nhớ tới lưỡi dao cạo Occam của nhà thần học và triết học thế kỷ 14 Guillaume d 'Occam, người cho rằng một lời giải thích đơn giản về một thực kiện có nhiều khả năng đúng hơn là một lời giải thích vòng vo, phức tạp.

mà M. Fresnel, bằng những nỗ lực của chính mình, dường như đã khám phá lại các định luật giao thoa." Một sự trao đổi đầy tinh thần cầu tiến giữa hai nhà khoa học tầm cỡ thật đáng kính phục.

Cơ sở toán học được Fresnel phát triển cho phép ông không chỉ khái quát những kết quả của Young, mà còn đem lại một câu trả lời cho ý kiến phản đối chủ yếu của Newton đối với lý thuyết sóng ánh sáng: tại sao chúng ta có thể nghe thấy ai đó ở góc phố, nhưng lại không nhìn thấy họ? Nói cách khác, tại sao âm thanh vòng qua được góc phố, chứ không như ánh sáng? Nếu ánh sáng là một sóng như âm thanh, cả hai sẽ phải có hành vi tương tự, và chúng ta sẽ phải nhìn thấy cũng như nghe thấy tất cả những gì xảy ra sau chỗ ngoặt. Nhà vật lý trẻ người Pháp chứng minh được rằng ánh sáng thực sự cũng vòng qua góc phố, nhưng các sóng ánh sáng giao thoa với nhau và bị triệt tiêu gần như hoàn toàn. Hơn nữa, lượng âm thanh hay ánh sáng đi qua góc phố phụ thuộc vào bước sóng, tức khoảng cách giữa hai đỉnh (hoặc hai hõm) liên tiếp của sóng âm hoặc sóng ánh sáng. Bước sóng càng nhỏ, lượng âm thanh hoặc ánh sáng bị lệch đi (các nhà vật lý gọi là "nhiễu xạ") càng không đáng kể. Mà bước sóng của sóng ánh sáng nhỏ hơn một triệu lần so với sóng âm thanh tạo bởi giọng nói của bạn. Vì vậy, chúng ta có thể nghe thấy một người ở góc phố, nhưng không nhìn thấy người đó.

Quan trọng hơn nữa, Fresnel phát hiện ra một sự khác biệt cơ bản giữa âm thanh và ánh sáng: mặc dù cả hai đều có bản chất sóng, nhưng chúng khác nhau về cách vận chuyển năng

lượng trong không gian. Khi nói chuyện với ai đó, có một làn sóng nén và loãng dần vượt qua không khí từ miệng bạn đến tai của người đối thoại. Trong quá trình sóng âm đi tới một vị trí nhất định, các phân tử không khí tại vị trí đó chuyển động và việc truyền năng lượng thực hiện theo hướng lan truyền của sóng. Người ta nói rằng sóng này là "sóng dọc". Mặt khác, Fresnel chứng minh rằng trong quá trình lan truyền của một sóng ánh sáng trong ether giả định, việc truyền năng lượng không xảy ra theo hướng lan truyền của sóng, mà theo một mặt phẳng vuông góc với nó – sóng này gọi là "sóng ngang".

Chứng minh của Fresnel rằng ánh sáng là một sóng ngang – mà không phải là dọc giống như âm thanh – đặt ra một vấn đề liên quan đến bản chất của ether, chất có mặt khắp nơi trong vũ trụ. Young đã đưa ra một cách rõ ràng và cô đọng những khó khăn về mặt khái niệm nảy sinh khi ông viết vào năm 1823: "Giả thuyết của Fresnel rất khéo léo và cho phép tính toán thỏa đáng. Nhưng nó dẫn đến một kết luận gây sốc: ether ở khắp nơi trong không gian không chỉ hoàn toàn đàn hồi, mà nó cũng hoàn toàn rắn!" Thật vậy, sóng ngang chỉ có thể truyền trong một chất rắn. Chúng cũng có thể lan truyền qua chất lỏng, nhưng chỉ trên bề mặt (như sóng trên bề mặt đại dương), chứ không bao giờ ở bên trong. Ether cần phải rắn như băng. Nhưng nếu thật sự như vậy, thì giải thích thế nào về sự chuyển động của các hành tinh? Làm thế nào chúng có thể di chuyển trong băng mà không bị chậm lại? Phải chăng ether không thực sự tồn tại và đơn giản chỉ là một hư cấu được trí tưởng tượng phong phú của con người tạo ra, giống như kỳ

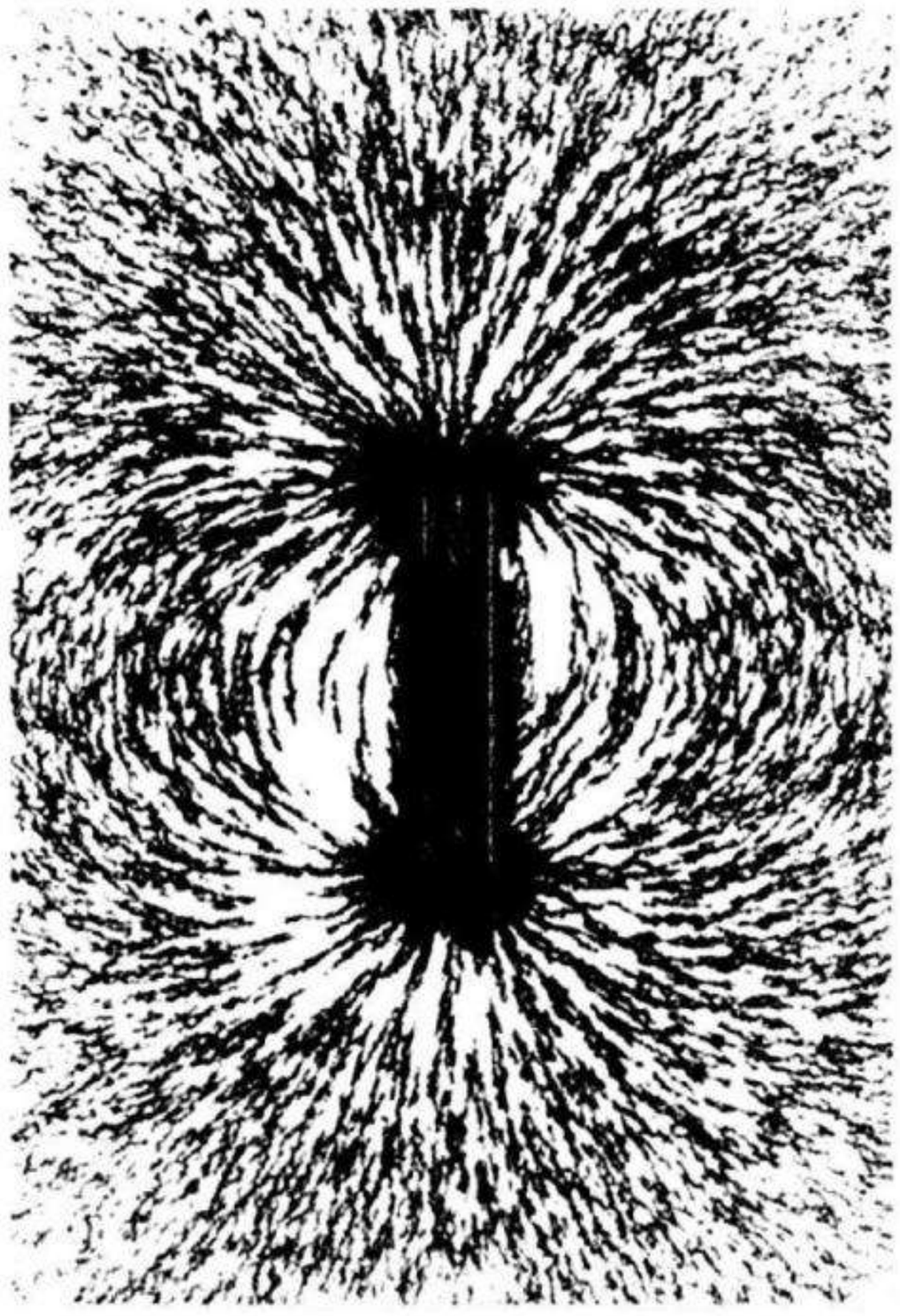
lân thời Cổ đại hoặc các tinh cầu mà người Trung cổ vẫn kiên trì gắn các hành tinh lên đó?

Faraday và cuộc hôn phối giữa điện và từ

Bước tiếp theo trong câu chuyện của ether chuyển sang lĩnh vực điện và từ. Nhân vật đầu tiên bước lên sân khấu trong tập mới này là nhà vật lý người Anh Michael Faraday (1791-1867), được xem là thí nghiệm gia vĩ đại nhất của thời đại ông (hình bên).

Là người rất ngoan đạo, Faraday rất tin tưởng vào sự thống nhất của tự nhiên, bởi đó là biểu hiện của Chúa và rằng Chúa là một: "Từ lâu tôi đã nghĩ, và điều này gần như trở thành một niềm xác tín, rằng các dạng khác nhau mà các lực của vật chất thể hiện đều có chung một nguồn gốc." Đặc biệt, nhà vật lý muốn biết liệu các hiện tượng điện và từ có liên hệ với nhau hay không hay hoàn toàn tách biệt. Faraday biết tới công trình của nhà vật lý người Đan Mạch Hans Christian Ørsted (1777-1851). Vào năm 1820, Ørsted đã chứng tỏ được mối liên hệ mật thiết giữa điện và từ bằng cách quan sát một dòng điện làm lệch kim la bàn. Vì kim la bàn chỉ phản ứng với các hiện tượng từ, điều này nghĩa là điện tạo ra từ tính. Faraday đã chứng minh vào năm 1831 rằng điều ngược lại

cũng đúng: một nam châm di chuyển sẽ tạo ra một dòng điện. Như vậy tình huống là hoàn toàn đối xứng: điện tích di chuyển tạo ra hiệu ứng từ và một từ trường thay đổi tạo ra hiệu ứng điện. Điện và từ là hai mặt của cùng một hiện tượng vật lý. Thuật ngữ "điện từ trường" được đặt ra để liên kết chúng về mặt ngôn ngữ.



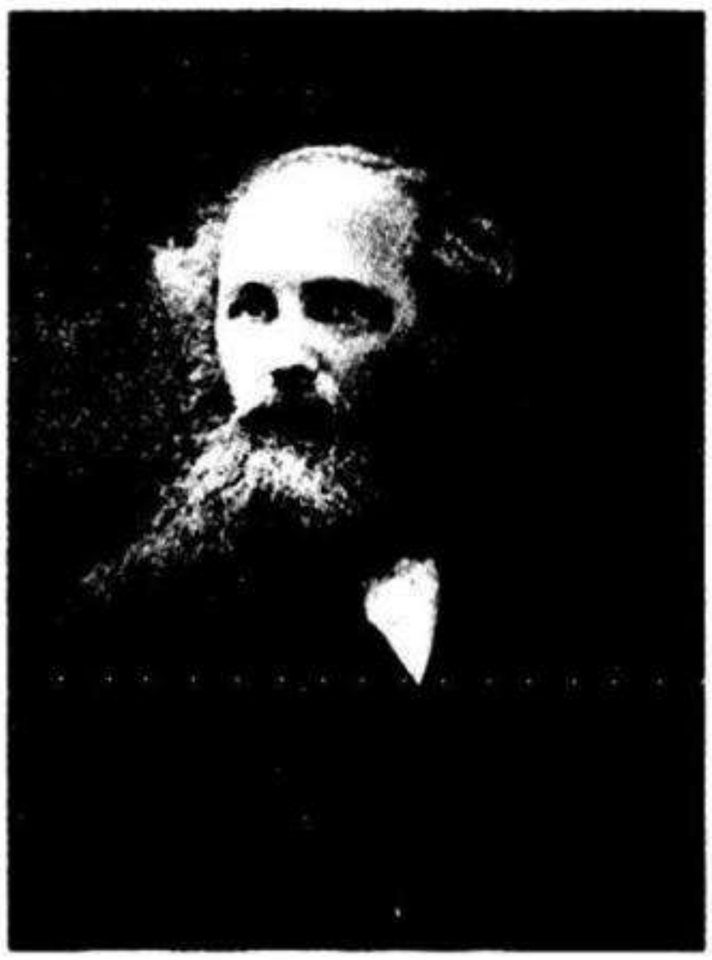
Các đường sức từ (được tạo bởi các mạt sắt) nối giữa hai cực Bắc (N) và Nam (S) của một nam châm.

Nhưng làm thế nào mà các lực điện và từ có thể tác động từ xa? Làm thế nào một dòng điện lại có thể làm lệch kim la bàn mà không có bất kỳ tiếp xúc nào với nó? Để giải thích tác động từ xa này, Faraday đã tưởng tượng ra các đường sức xuất

phát từ một điện tích hoặc một trong hai cực của nam châm triển khai ra không gian, tạo ra ở đó một điện trường hoặc từ trường rộng lớn (hình). Khái niệm trường này là khái niệm mang tính cách mạng và sẽ có ảnh hưởng to lớn đến sự phát triển của vật lý trong những thế kỷ tiếp theo.

Vật lý học cho chúng ta biết rằng chúng ta đang sống trong một đại dương bao la của các trường điện từ. Đây chính là các trường đã truyền tải những chương trình truyền hình hay âm nhạc yêu thích qua không gian từ đài phát tới TV hoặc máy thu thanh của chúng ta. Nó cũng cho phép chúng ta kết nối máy tính xách tay với Internet, kết nối với mạng GPS để xác định vị trí của mình và giao tiếp với bạn bè thông qua điện thoại di động mà không cần bất kỳ kết nối bằng dây điện nào.

Maxwell và sự thống nhất điện từ và quang học



Nhân vật thứ hai xuất hiện trong lịch sử của điện từ học là nhà vật lý người Scotland James Clerk Maxwell (1831-1879) (hình). Chính ông là người đã đặt nền tảng toán học vững chắc cho các ý tưởng của Faraday, giống như Fresnel đã làm cho Young. Thật vậy, do tự học, Faraday không có đủ hành trang kỹ thuật cần thiết để chứng minh bằng toán học mối liên hệ mật thiết giữa điện và từ. Maxwell càng quyết tâm thực hiện nhiệm

vụ này, vì ông tin rằng những ý tưởng của Faraday là đúng đắn: "Faraday hình dung thấy trong tâm trí của mình những đường sức trải ra khắp không gian, trong khi các nhà toán học chỉ nhìn thấy các tâm lực hút ở khoảng cách xa." Năm 1864, nhờ vào tài năng toán học phi thường của mình, ông đã thành công trong việc tổng hợp những hiểu biết tản mạn ở thời đó về điện và từ dưới dạng một hệ gồm bốn phương trình. Mỗi phương trình được thể hiện bằng một ngôn ngữ toán học cô đọng không khỏi gợi cho ta nhớ đến vẻ đẹp của những chữ tượng hình Ai Cập hay các biểu tượng thần bí của thuật giả kim. Các phương trình này cô đúc tới mức có thể in tất cả trên một chiếc áo phông, điều mà một số thương gia, vốn nhạy cảm với lợi nhuận, đã không bỏ qua (hình bên). Ngày nay, những phương trình ấy được biết đến với tên gọi "Các phương trình Maxwell", chúng đã đánh dấu một bước quyết định trong lịch sử vật lý. Nhà vật lý người Mỹ từng đoạt Giải Nobel Richard Feynman (1918-1988) đã bình luận như sau về thành tựu phi thường của nhà vật lý người Scotland "Không nghi ngờ gì nữa, trong 10.000 năm sau, hậu thế sẽ đánh giá sự phát hiện ra các định luật điện động lực học của Maxwell như là sự kiện quan trọng nhất của thế kỷ 19. Cuộc nội chiến Hoa Kỳ, nếu so sánh, chỉ đơn giản như một sự kiện tỉnh lẻ[1]."

Ấn tượng hơn nữa – và để quay trở lại những suy tư của chúng ta về ánh sáng – Maxwell không chỉ thống nhất điện và từ, mà còn tổng hợp được điện từ học với quang học. Thật

---

[1] Richard Feynman, Giáo trình Vật lý của Feynman. Điện từ học.

Các phương trình Maxwell in trên áo phông. Chúng vinh danh sự tổng hợp vĩ đại của điện, từ và quang học.

vậy, các phương trình của ông mô tả kịch bản sau: một điện trường thay đổi theo thời gian sẽ tạo ra một từ trường; do thực tế chuyển tiếp của từ trường từ không tồn tại sang tồn tại, nghĩa là từ trường thay đổi và do đó nó lại tạo ra một điện trường biến đổi, điện trường thay đổi này lại sinh ra một từ trường, và cứ như thế mãi. Các điện trường và từ trường có mối liên hệ không thể tách rời, tạo nên hai thành phần của một sóng điện từ lan truyền trong không gian, giống như một sóng truyền dọc theo một sợi dây khi ta lắc một đầu và giữ chặt đầu kia. Sóng này là sóng ngang, nghĩa là việc truyền năng lượng nằm trong mặt phẳng vuông góc với hướng lan truyền của sóng. Năm 1873, Maxwell đã tính toán được chính xác tốc độ lan truyền sóng điện từ này trong không gian. Kết quả thật kỳ lạ: sóng điện từ truyền với tốc độ đúng bằng tốc

độ ánh sáng[1]. Nói cách khác, sóng điện không gì khác, mà chính là ánh sáng!

Như vậy, sau Newton, Maxwell chính là người đã thực hiện sự thống nhất lớn thứ hai của vật lý. Trong khi Newton đã thống nhất trời và đất, nhà vật lý người Scotland, với cây đũa thần, đã thống nhất điện, từ và quang học!

Tại sao ether lại không hãm chuyển động của Trái Đất?

Một câu hỏi vẫn còn tồn tại: cái giá đỡ vật chất nào đã cho phép sóng điện từ lan truyền được? Nếu những sóng này di chuyển trong không gian như sóng trên bề mặt đại dương, thì bản chất của "đại dương" truyền sóng điện từ là gì? Mặc dù các phương trình của Maxwell không yêu cầu sự có mặt của một chất hiện diện ở khắp nơi trong vũ trụ, nhưng ông vẫn cầu viện tới ether. Dường như ông không nghi ngờ gì về sự tồn tại của nó, như ông viết trong một mục từ của cuốn Từ điển bách khoa *Encyclopedia Britannica* năm 1878: "Bất chấp những khó khăn có thể có trong việc hình thành nên một ý tưởng chặt chẽ và nhất quán về bản chất của ether, không có gì nghi ngờ rằng không gian giữa hành tinh và giữa các vì sao bị chiếm bởi một chất hay một vật thể..."

Đối với Maxwell, ether đóng một vai trò không thể thiếu, không chỉ trong việc truyền sóng ánh sáng, mà còn để xác định một hệ quy chiếu tuyệt đối. Thật vậy, giống như Newton,

---

[1] Giá trị hiện đại của tốc độ ánh sáng trong chân không là 299.792.548 km/s.

ông cũng phải đối mặt với vấn đề "không gian tuyệt đối" để mô tả chuyển động của các vật. Nếu các phương trình nói với ông rằng sóng điện từ lan truyền trong không gian với tốc độ 300.000 km/s thì chúng lại lặng câm khi phải trả lời câu hỏi: tốc độ đó được đo đối với hệ quy chiếu nào? Điều này cũng chẳng khác gì người ta nói với bạn địa điểm hẹn gặp cách 2 km, nhưng lại không nói rõ là đối với vật mốc nào. Đi theo bước chân của Newton, Maxwell cũng nghĩ một cách tự nhiên rằng ánh sáng lan truyền với tốc độ ba trăm ngàn kilomet một giây là so với một ether đứng yên tràn ngập khắp vũ trụ.

Nhưng ether này được làm bằng gì? Nguồn gốc của nó ra sao? Rồi tính chất của nó thế nào? Bản chất của nó phải tương thích với một số quan sát bầu trời. Thứ nhất, chắc chắn nó phải trong suốt vì chúng ta có thể chiêm ngưỡng các hành tinh, các ngôi sao và các thiên thể khác một cách rõ ràng. Tiếp theo, cần phải hiểu được tại sao chúng ta không nhận thấy bất kỳ cơn gió ether nào, ngay cả khi con tàu Trái Đất thực hiện hành trình hằng năm của nó quanh Mặt Trời với tốc độ khoảng 30 km/s trong không gian. Thực tế, Trái Đất đã đi qua ether trong nhiều thế kỷ, với tốc độ đáng kể này, mà không phát hiện được bất kỳ sự chậm lại nào. Điều này chỉ có thể giải thích được nếu ether không tác động bất kỳ lực nào lên các hành tinh. Bằng cách tính toán chuyển động của các hành tinh, Newton chỉ ra rằng nếu tồn tại một lực như thế, thì các hành tinh chắc chắn đã chuyển động chậm lại và rơi theo đường xoắn ốc vào Mặt Trời từ lâu rồi.

Các câu hỏi khác cũng đã được đặt ra. Như chúng ta đã thấy, khám phá của Augustin Fresnel rằng ánh sáng là một sóng ngang (việc truyền năng lượng nằm trong mặt phẳng vuông góc với hướng lan truyền của sóng) hàm ý rằng ether phải hoàn toàn rắn bởi vì các sóng ngang không thể truyền qua một chất lỏng. Nhưng nếu vậy thì Trái Đất và các hành tinh khác làm thế nào có thể chuyển động trong một môi trường như thế mà không bị chậm lại và rơi vào Mặt Trời? Liệu ether có thể có cả tính chất của một chất rắn đàn hồi và chất lưu linh động không?

Những câu hỏi này vẫn chưa được giải đáp và vấn đề ether vẫn là một trong những mối bận tâm chủ yếu của các nhà vật lý vào cuối thế kỷ 19. Nhà vật lý người Đức Heinrich Hertz (1857-1894) tóm tắt điều này tại một hội nghị khoa học vào năm 1889: "Vấn đề lớn của Tự nhiên có liên quan đến các tính chất của ether choán đầy không gian: cấu trúc của nó là gì? Nó bất động hay chuyển động, phạm vi của nó là hữu hạn hay vô hạn? Càng ngày chúng ta càng cho rằng đây là vấn đề quan trọng nhất, và giải quyết được nó sẽ cho chúng ta thấy không chỉ bản chất của cái mà chúng ta thường gọi là "thất thường, không thể lường được", mà còn cả bản chất của chính vật chất cùng các tính chất căn bản của nó – trọng lượng và quán tính... Đây là những vấn đề tối thượng của khoa học vật lý, là đỉnh băng giá của các ngọn núi cao nhất."

Michelson và Morley và sự thiếu vắng gió ether

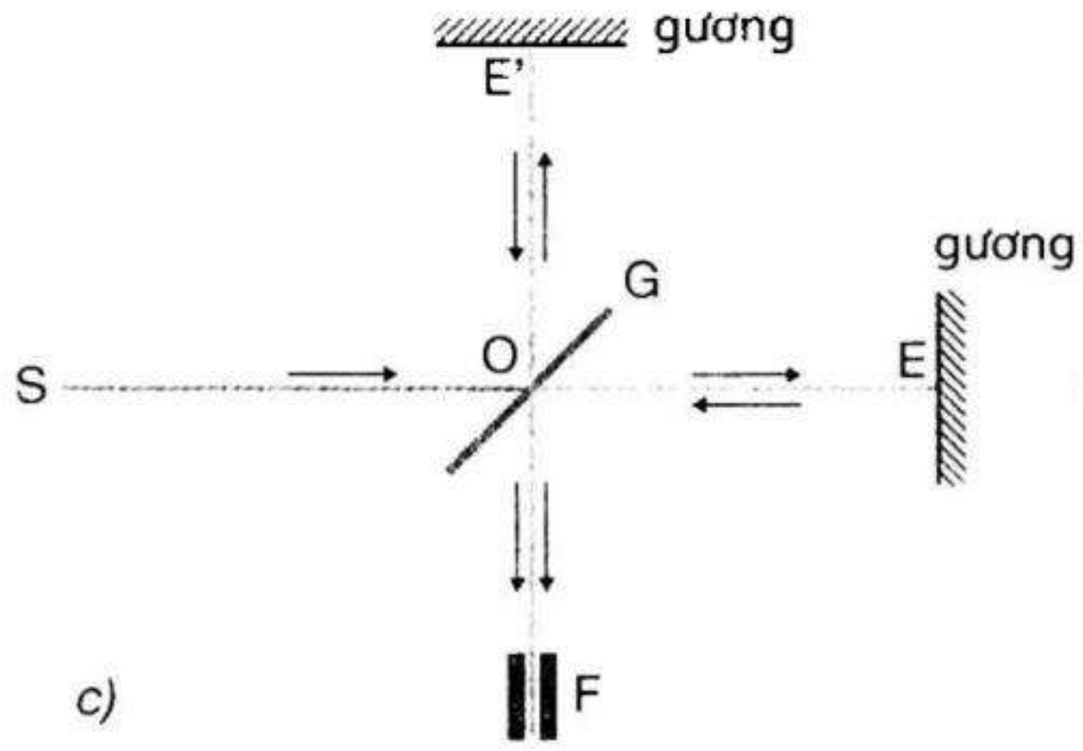
Vào năm 1887, các nhà vật lý người Mỹ Albert Michelson (1852-1931) (hình bên) và Edward Morley (1838-1923) (hình dưới) quyết định tiến hành một thí nghiệm tài tình để kiểm tra sự tồn tại của ether, đặc biệt là để làm rõ cái được gọi là "gió ether". Như với tất cả những thí nghiệm lớn khác, ý tưởng xuất phát rất đơn giản.

Trái Đất không đứng yên mà có hai chuyển động: một chuyển động quay quanh mình nó, tạo nên sự thay đổi của ngày và đêm, và một chuyển động quay xung quanh ngôi sao của chúng ta, tức Mặt Trời, gây ra sự luân chuyển của các mùa. Điều này nghĩa là nếu hành tinh của chúng ta bị ngập chìm trong một thứ ether bất động thì nó phải chuyển động so với chất nền này. Do đó người Trái Đất phải cảm nhận được chuyển động này dưới dạng gió ether giống như gió mà một người đi xe đạp cảm thấy trên hai má khi đạp xe qua không khí bất động. Vậy làm thế nào để đo tốc độ của Trái Đất đối với ether? Lấy lại một ý tưởng của Maxwell đưa ra vào năm 1878, Michelson và Morley quyết định đo tốc độ ánh sáng theo những hướng khác nhau và trong những khoảng

thời gian khác nhau. Ý tưởng đó như sau: trong hành trình hằng năm của mình trên quỹ đạo elip xung quanh Mặt Trời, Trái Đất liên tục thay đổi tốc độ và hướng, điều này sẽ tạo ra các biến động nhỏ về tốc độ biểu kiến của ánh sáng theo thời gian. Do đó, nếu theo một hướng nào đó, Trái Đất chuyển động tới gặp một sóng ánh sáng, ánh sáng sẽ có tốc độ biểu kiến lớn hơn 300.000 kilomet mỗi giây, cụ thể là bằng tổng của tốc độ ánh sáng và tốc độ Trái Đất. Ngược lại, nếu chúng ta đo tốc độ này theo hướng ngược lại, ánh sáng sẽ phải đuổi theo để bắt kịp Trái Đất và tốc độ biểu kiến của nó sẽ nhỏ hơn giá trị thực của nó, tức bằng hiệu của tốc độ ánh sáng và tốc độ Trái Đất. Nhưng trong trường hợp hành tinh của chúng ta chuyển động theo hướng vuông góc với ánh sáng, ta sẽ không đo được bất kỳ hiệu ứng gì, tức là tốc độ đo được chính xác là 300.000 km/s. Bằng cách đo các biến thiên này của tốc độ ánh sáng, ta có thể suy luận được tốc độ gió giả định của ether. Hành tinh của chúng ta chuyển động quanh Mặt Trời với tốc độ khoảng 30 km/s, Michelson và Morley sẽ phải đo được các biến thiên tốc độ ở cùng độ lớn này, với giả định rằng ether thực sự tồn tại.

Đo các biến thiên nhỏ như vậy, chỉ bằng khoảng một phần vạn của tốc độ ánh sáng, không phải là một nhiệm vụ dễ dàng. Michelson và Morley phải sử dụng một dụng cụ gọi là "giao thoa kế", dựa trên nguyên lý giao thoa được phát hiện bởi Thomas Young mà ta đã nói ở trên. Ánh sáng đi vào giao thoa kế này được chia thành hai chùm. Chúng đi qua lại cùng một chiều dài, một tia đi theo hướng chuyển động của Trái Đất,

tia kia đi theo hướng vuông góc, trước khi gặp lại nhau. Ban đầu, hai tia này cùng pha, tức là các đỉnh và hõm của chúng trùng khớp nhau. Nhưng do các chùm sẽ có tốc độ khác nhau bởi một chùm chuyển động theo hướng chuyển động của Trái Đất và chùm kia theo hướng vuông góc, chúng sẽ bị lệch pha tại thời điểm gặp lại nhau. Trong tình huống như vậy, có thể là đỉnh của chùm đầu tiên đến đồng thời với hõm của chùm thứ hai: chúng sẽ giao thoa triệt tiêu nhau và như ta đã thấy, thêm ánh sáng vào ánh sáng có thể tạo ra bóng tối. Như vậy ta sẽ phải quan sát được các vân giao thoa, tức là các dải sáng (nơi các chùm tăng cường nhau) và dải tối (nơi các chùm này triệt tiêu).



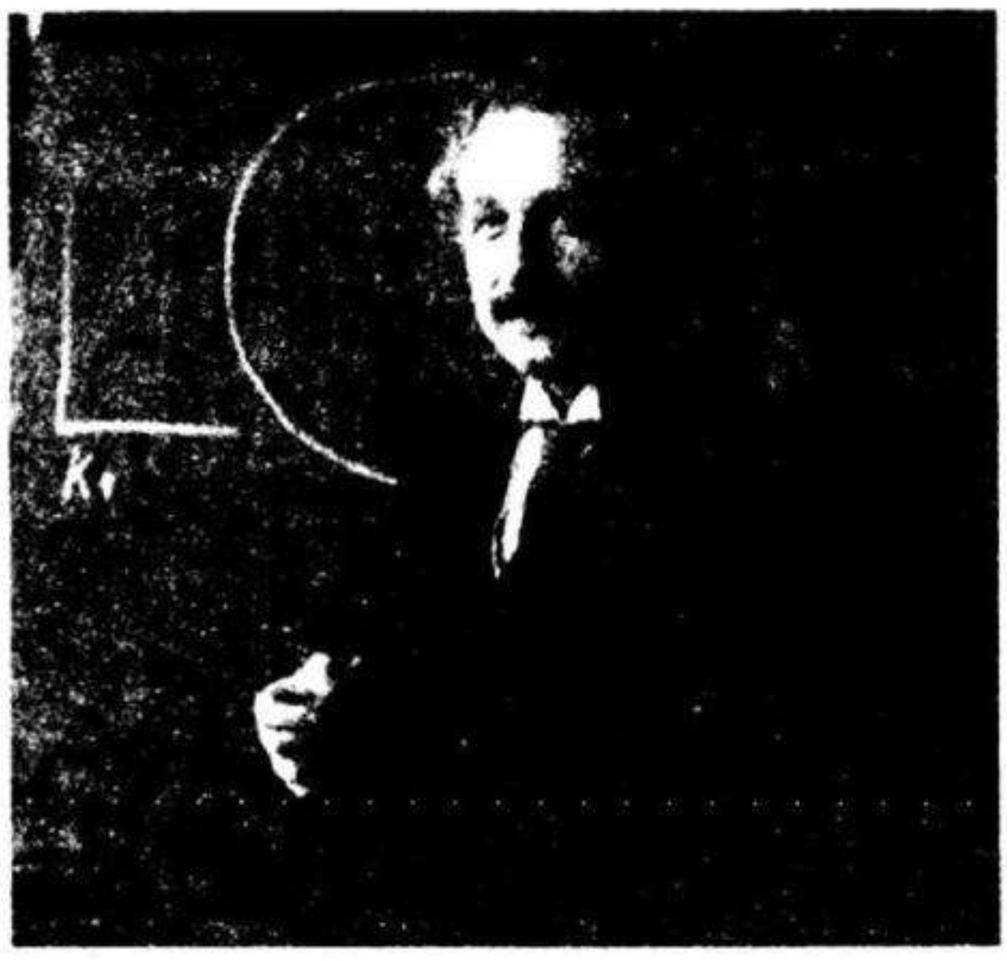
Giao thoa kế của Michelson và Morley được thiết kế để đo sự thay đổi rất nhỏ của tốc độ ánh sáng theo các hướng không gian khác nhau. Chùm sáng SO chiếu tới gương bán trong suốt G có tác dụng chia chùm sáng thành hai chùm con, một chùm truyền theo hướng di chuyển của Trái Đất, và một chùm theo hướng vuông góc. Hai chùm con này được phản xạ bởi các gương (E và E′), và được gửi đến máy dò F (phía dưới) cho phép ghi lại những thay đổi nhỏ của vị trí các vân giao thoa, nếu tốc độ ánh sáng thay đổi theo các hướng không gian khác nhau. Nhưng Michelson và Morley, đã rất ngạc nhiên, không phát hiện thấy bất kỳ thay đổi nào theo thời gian, do đó chứng minh được tốc độ ánh sáng là bất biến, bất kể chuyển động của người quan sát.

Bằng cách hoàn thiện giao thoa kế của mình, Michelson và Morley về cơ bản đã có thể đo được sự khác biệt rất nhỏ về tốc độ, khoảng 1,5 km/s, tức là bằng 1/20 tốc độ của Trái Đất đi trong ether giả định. Vì vậy bất cứ một cơn gió nhỏ nhất nào của ether cũng dễ dàng được phát hiện. Với sự thất vọng và cũng rất ngạc nhiên – bởi hai nhà vật lý đều tin chắc về sự tồn tại của ether – và bất chấp những nỗ lực lặp đi lặp lại các phép đo, các vân giao thoa vẫn hoàn toàn không xuất hiện. Do đó, phán quyết là không thể chối cãi: ánh sáng không thể hiện bất cứ một biến thiên, dù nhỏ nào, về tốc độ bất kể được đo theo hướng nào. Kết luận: tốc độ ánh sáng là một hằng số bất kể nó truyền theo hướng nào.

Sự bất biến của tốc độ ánh sáng ngụ ý không có bất kỳ một gió ether nào, và điều này đã gieo mối nghi ngờ về sự tồn tại của một chất choán đầy toàn bộ vũ trụ. Phải chăng cái chất ether ấy chỉ tồn tại trong trí tưởng tượng của con người? Tuy nhiên, những người ủng hộ ether vẫn chưa chịu thừa nhận thất bại. Nhiều đề xuất được đưa ra để cứu ether, đề xuất này viển vông hơn đề xuất khác. Một số người đưa ra ý kiến cho rằng có thể Trái Đất không chuyển động đối với ether, vì hành tinh của chúng ta cuốn nó theo. Một giả thuyết rất vô lý, bởi vì tại sao ether được cho là có mặt khắp vũ trụ mà lại phải đi theo chuyển động của hành tinh chúng ta, một hạt cát nhỏ nhoi trong đại dương vũ trụ mênh mông? Hai nhà vật lý, George FitzGerald (1851-1901) người Ireland và Hendrik Lorentz (1853-1928) người Hà Lan, đã đề xuất một ý tưởng mới và lạ: sự vắng mặt của vân giao thoa có thể giải thích

được nếu cho rằng chiều dài của một vật giảm theo tốc độ của nó[1]. Tất nhiên, sự co kích thước này rất nhỏ đối với tốc độ 30 km/s của Trái Đất - một vật chuyển động ở tốc độ đó co lại chỉ khoảng một phần trăm triệu của độ dài ban đầu - nhưng đủ để giải thích sự vắng mặt các vân giao thoa trong thí nghiệm của Michelson và Morley. Thật vậy, đường đi của ánh sáng trong giao thoa kế, theo hướng chuyển động của Trái Đất, sẽ ngắn lại vừa đủ so với đường đi vuông góc để bù trừ khác biệt thời gian phát sinh từ khác biệt về tốc độ do sự chuyển động của Trái Đất qua ether. Sự bù trừ này làm cho các tia sáng theo cả hai hướng vẫn đồng pha với nhau sau khi hoàn thành hai lượt đi-về của chúng và giao thoa tăng cường nhau ở điểm đến. Nói cách khác, vũ trụ có thể được choán đầy bằng ether, nhưng các định luật vật lý đã ngầm thỏa thuận với nhau để ta không thể phát hiện ra nó!

Ý tưởng chiều dài của vật bị co lại theo hướng chuyển động của nó được đón nhận với sự hoài nghi của cộng đồng khoa học: nó chỉ được coi là một thủ thuật toán học chứ không liên quan gì đến thực tại vật lý cả. Mọi



[1] Chiều dài sẽ giảm theo một hệ số bằng với $\sqrt{1 - (v/c)^2}$ với v là tốc độ của vật và c là tốc độ ánh sáng.

thứ dừng lại ở đó cho đến khi một nhân viên vô danh, một "chuyên viên kỹ thuật hạng ba" của Văn phòng Sáng chế liên bang ở Berne, Thụy Sĩ, có tên là Albert Einstein (1879-1955), thoát khỏi bóng tối vô danh để đánh tiếng chuông báo hiệu sự cáo chung của ether và làm mê hoặc vật lý hiện đại (hình).

Einstein và cái chết của ether

Mùa hè năm 1900, chàng trai Einstein tốt nghiệp khoa vật lý trường Bách Khoa nổi tiếng của Zurich ở Thụy Sĩ, nhưng không nhận được chân trợ giảng tại trường đại học cũ, nơi mà các đồng nghiệp và các giáo sư không mấy ưa tính bất tuân của ông. Ông kiếm sống một cách khó khăn bằng việc dạy phụ đạo tạm thời tại các trường trung học tầm tầm ở Thụy Sĩ. "Ở ngưỡng cửa của cuộc đời, tôi cảm thấy mình như một kẻ bị gạt ra bên lề, không được yêu thương, bị mọi người bỏ rơi", ông viết sau đó. Năm 1902, nhờ sự can thiệp từ cha của một người bạn, cuối cùng ông đã được nhận vào làm ở Văn phòng cấp bằng sáng chế Thụy Sĩ.

Chính ở đó, cách xa thế giới học thuật, cách hàng vạn dặm mọi áp lực phải đưa ra những ý tưởng và lý thuyết thời thượng để theo đuổi sự nghiệp trong giới đại học, Einstein – một người có tầm nhìn, với một tinh thần nổi loạn – đã được tự do thể hiện tài năng của mình. Vào năm 1905, ông đã làm thay đổi quan niệm về thế giới bằng bốn bài báo cơ bản, mà mỗi bài đều đủ để đưa ông tới ngôi đền vật lý và tột đỉnh vinh quang. Ở một trong những bài báo này, nhà vật lý thiên tài

đã đề xuất một lý thuyết mới về thời gian và không gian, đó là thuyết tương đối được mệnh danh là "hẹp" bởi vì nó chỉ áp dụng cho các chuyển động đều, không có gia tốc. Ở đây ông đã phá hủy giáo điều Newton về một thời gian và không gian phổ quát và tuyệt đối, và tuyên bố sự cáo chung của ether[1].

Một câu hỏi đã không ngừng ám ảnh Einstein trong suốt thuở niên thiếu: nếu chúng ta có thể chạy nhanh như ánh sáng, thì một sóng ánh sáng sẽ trông như thế nào? Ánh sáng sẽ phải đứng im so với chúng ta. Chỉ cần vươn tay ra là chúng ta có thể lượm được một ít ánh sáng tựa như hái quả từ một cái cây. Nhưng điều này đặt ra một vấn đề. Các phương trình Maxwell cho chúng ta biết rằng ánh sáng không thể bất động hay đứng im vì nó phải luôn luôn di chuyển với tốc độ 300.000 km/s. Thực tế không ai có thể nắm được một nhúm ánh sáng trong tay cả! Einstein đưa ra giải pháp cho nghịch lý này ở tuổi 26, trong bài báo công bố năm 1905 của ông về thuyết tương đối hẹp. Mặc dù không nói đến một cách tường minh trong bài báo của mình, nhưng ông chắn chắn đã biết tới kết quả thí nghiệm của Michelson và Morley và những thí nghiệm tương tự khác, những thí nghiệm đã không thể phát hiện bất kỳ biến

---

1 Ngoài bài báo về thuyết tương đối hẹp, ba bài còn lại liên quan đến chuyển động Brown, từ đó Einstein xác lập được tính hiện thực của các nguyên tử, hiệu ứng quang điện qua đó ông chứng minh được tính chất lượng tử của ánh sáng và sự tương đương của khối lượng-năng lượng, thể hiện qua công thức có lẽ là nổi tiếng nhất trong lịch sử vật lý: $E = mc^2$ (năng lượng của một vật bằng tích khối lượng của nó với bình phương tốc độ ánh sáng).

thiên nào của tốc độ ánh sáng bất kể nó được đo theo hướng nào so với hướng chuyển động của Trái Đất. Thay vì giải thích vòng vo phức tạp, chẳng hạn như cho ether di chuyển cùng với Trái Đất, Einstein, được dẫn dắt bởi một trực giác phi thường về sự vận hành của tự nhiên, và với niềm tin vững chắc rằng một lời giải thích đơn giản có nhiều khả năng đúng hơn là một lời giải thích phức tạp, ông đã quả quyết rằng nếu các thí nghiệm không hé lộ sự tồn tại của ether, thì đơn giản chỉ là vì nó không hề tồn tại! Hơn nữa, sự tồn tại của một môi trường lan truyền sóng ánh sáng không phải là một đòi hỏi của các phương trình Maxwell. Đối với Einstein, kết luận rằng khác sóng âm, sóng ánh sáng không cần tới một môi trường mang chúng là sự thật không thể lảng tránh được. Cả thí nghiệm và lý thuyết đều ngụ ý rằng ánh sáng hoàn toàn có thể lan truyền trong chân không. Không cần thiết phải có ether. Nó chỉ là một sản phẩm của trí tưởng tượng của con người.

Nhưng nếu ether bị rơi vào quên lãng, thì cái gì sẽ đóng vai trò tham chiếu cố định, cái mà Newton gọi là "không gian tuyệt đối"? Các phương trình Maxwell cho chúng ta biết rằng ánh sáng di chuyển với tốc độ 300.000 km/s, nhưng con số này là so với cái mốc nào? Lại một lần nữa, Einstein nhà cách mạng được dẫn dắt bởi niềm tin siêu hình rằng các quy luật tự nhiên phải đơn giản, chứ không đi lòng vòng. Ông nói rằng nếu lý thuyết Maxwell không đòi hỏi một cái mốc cố định đặc biệt nào, thì cái mốc này sẽ không tồn tại. Tốc độ ánh sáng phải bằng 300.000 km/s, bất kể so với mốc nào được dùng để đo. Và như thế, Einstein đã đặt ra tiên đề cơ bản của thuyết

tương đối: các định luật cơ bản của vật lý, bao gồm cả định luật điện từ của Maxwell, phải tuyệt đối như nhau đối với tất cả mọi người quan sát chuyển động tương đối với nhau. Nói cách khác, trong vũ trụ không có điểm quy chiếu nào là đặc quyền hoặc tuyệt đối.

Tính tương đối của thời gian và không gian

Thừa nhận tốc độ ánh sáng là hằng số phổ quát, độc lập với chuyển động của người quan sát, sẽ làm đảo lộn hoàn toàn các khái niệm thông thường về thời gian và không gian.

Thật ra, tốc độ chỉ là tỷ số của một khoảng cách trong không gian và một khoảng thời gian. Để tốc độ ánh sáng không đổi bất kể chuyển động của người quan sát, Einstein buộc phải bỏ đi "độ cứng" của khoảng cách và thời gian được đo bởi những người quan sát có những chuyển động khác nhau. Đây là một quan điểm khác biệt hoàn toàn so với Newton. Nhà vật lý học người Anh đã coi không gian và thời gian là tuyệt đối, tồn tại "mà không cần bất kỳ một tham chiếu nào đến một vật bên ngoài". Chúng sẽ luôn giống nhau đối với bất cứ ai, bất kể chuyển động của họ như thế nào, và tiến triển độc lập với nhau. Trong vũ trụ của Einstein, quan điểm này đã bị quét sạch. Mỗi người chúng ta đều có đồng hồ riêng và thước đo khoảng cách riêng của mình. Mỗi đồng hồ, mỗi thước đo đó đều chính xác như nhau, bất kể là của ai, nhưng chúng sẽ đo các khoảng thời gian và không gian khác nhau ngay khi chúng ta chuyển động.

Thời gian và không gian có thể co giãn theo tốc độ. Chúng tạo thành một cặp đôi không thể tách rời mà sự thay đổi của chúng tùy theo chuyển động luôn luôn bổ sung cho nhau. Cái chết của ether và việc tốc độ ánh sáng trở thành một hằng số phổ quát, độc lập với chuyển động của người quan sát, từ nay đã tạo ra vũ trụ bốn chiều. Ngoài ba chiều của không gian còn có thêm một chiều thời gian.

Hãy lấy một ví dụ. Một người đi bằng tên lửa với tốc độ 87% tốc độ ánh sáng sẽ thấy thời gian của mình dài hơn 2 lần so với thời gian của một người quan sát bất động[1]. Sự chậm lại này của thời gian, không phải là một trò chơi của tâm trí, mà là thật: người du hành sẽ có ít nếp nhăn và tóc bạc hơn, trái tim anh ta sẽ đập ít nhịp và anh ta sẽ ăn ít bữa ăn hơn so với người quan sát đứng yên. Tốc độ đóng vai trò là suối nguồn của tuổi trẻ – một suối nguồn không trẻ hóa, nhưng làm chậm lại sự khắc nghiệt của thời gian. Nói cách khác, chỉ cần đi nhanh để làm chậm thời gian. Sự chậm này luôn đi liền với sự co của không gian với cùng một hệ số. Vì vậy người quan sát bất động sẽ nhìn thấy tên lửa của người du hành cũng co lại theo hệ số 2: chiều dài của

---

[1] Sự giãn nở của thời gian phụ thuộc vào tốc độ của người du hành so với người quan sát. Người du hành di chuyển càng nhanh, thời gian của người đó càng kéo dài. Thời gian của người du hành sẽ kéo dài so với người quan sát đứng yên một hệ số bằng $1/\sqrt{1 - (v/c)^2}$ trong đó v là tốc độ của người du hành và c tốc độ ánh sáng. Công thức này giống như công thức được đưa ra bởi các nhà vật lý FitzGerald và Lorentz để giải thích sự vắng mặt của các vân giao thoa trong thí nghiệm Michelson và Morley.

tèn lửa chỉ bằng một nửa so với lúc nó ở trên Trái Đất. Sự biến dạng hợp tấu của không gian và thời gian có thể được coi như một sự chuyển đổi thời gian thành không gian và ngược lại.

Tất nhiên, những biến dạng này chỉ đáng kể khi tốc độ gần với tốc độ ánh sáng. Trong cuộc sống hằng ngày, tốc độ mà chúng ta đạt được bằng máy bay, tàu hỏa hoặc ô tô là rất nhỏ (tốc độ của một chiếc máy bay chở khách là khoảng 900 km/h, chỉ bằng một phần triệu tốc độ ánh sáng, của tàu cao tốc TGV khoảng 300 km/h, bằng một phần ba triệu của ánh sáng), do đó thời gian chậm lại của hành khách vô cùng nhỏ. Một giây của hành khách trên máy bay tương ứng với 1,000000000005 giây của một người trên mặt đất, ngay cả khi chúng ta dành cả cuộc đời của mình (một trăm năm) để đi máy bay phản lực, ta cũng sẽ chỉ tiết kiệm được 1 milli giây so với "người định cư một chỗ" mà thôi. Bởi vì sự khác biệt là tối thiểu, nên tất cả chúng ta sống trên Trái Đất gần như với cùng một thời gian. May mắn thay cho sức khỏe tinh thần của chúng ta: sẽ hỗn loạn chừng nào, nếu như sự co giãn của thời gian thể hiện rõ rệt trong cuộc sống hằng ngày!

Còn lạ hơn nữa, sự co giãn và dễ thay đổi của thời gian theo chuyển động của mỗi người làm tổn thương tới các quan niệm của chúng ta về quá khứ, hiện tại và tương lai. Chẳng hạn, hiện tại của tôi có thể là tương lai của bạn và là quá khứ của một người thứ ba, nếu người đó và bạn đang chuyển động so với tôi. Khẳng định này có một hệ quả phi thường: nếu với một ai đó tương lai đã tồn tại và quá khứ vẫn còn là hiện tại, thì không còn thời điểm nào là đặc ân nữa, mọi khoảnh khắc

đều bình đẳng; quá khứ chưa kết thúc và tương lai không phải là sẽ tới. Đối với Einstein, sự trôi của thời gian không phải là thực, thời gian không chảy: nó chỉ đơn giản là ở đó, bất động, giống như một đường thẳng kéo dài đến vô tận theo cả hai hướng. "Đối với chúng tôi, những nhà vật lý đã có lòng tin, ông nói, sự phân biệt giữa quá khứ, hiện tại và tương lai chỉ là ảo giác, cho dù nó bền chắc, dai dẳng và khó gỡ bỏ[1]".

Nhưng thuyết tương đối hẹp còn chưa đầy đủ. Nó mới chỉ mô tả được chuyển động đều với hướng và tốc độ không đổi. Nó sẽ vô dụng nếu gặp một chuyển động có gia tốc, khi mà một đối tượng thay đổi cả tốc độ và hướng, như khi bạn nhấn ga tăng tốc xe hoặc khi cua góc. Mặt khác, nó không bao gồm hiện tượng vạn vật hấp dẫn, mà Newton rất trân quý, và vì vậy nó không có khả năng mô tả sự tiến hóa của vũ trụ nơi mà lực hấp dẫn đóng vai trò vượt trội. Einstein đã làm việc miệt mài để khắc phục những thiếu sót này. Sau mười năm lao động với cường độ cao, vào năm 1925, Einstein đã công bố kiệt tác của mình, một bài báo về thuyết tương đối rộng, trong đó ông trình bày một quan điểm về thế giới hoàn toàn khác biệt so với Newton. Vũ trụ Newton là một thế giới của các lực truyền đi với tốc độ vô hạn[2] bằng một chất ether

---

1 Thư viết năm 1955 gửi cho gia đình sau ngày mất của người bạn thời thơ ấu Michele Besso (và chỉ vài tháng trước ngày mất của chính Einstein).

2 Trong thuyết vạn vật hấp dẫn, Newton cần phải dùng tới một tác động từ xa của lực hấp dẫn, nghĩa là lực này sẽ truyền với tốc độ vô hạn, mâu thuẫn trực tiếp với thuyết tương đối hẹp của Einstein nói rằng không gì có thể di chuyển nhanh hơn ánh sáng.

bí ẩn choán đầy một không gian phẳng, thụ động và đông cứng. Trong vũ trụ của Einstein, ether và các lực đã phải rời sân khấu, đồng thời không gian được giải phóng khỏi sự thụ động và cứng nhắc. Một khi trở nên chủ động, không gian có thể giãn ra, co lại, uốn cong và biến dạng tùy theo lực hấp dẫn do vật chất gây ra. Chẳng hạn, theo Newton, Mặt Trăng ngoan ngoãn đi theo quỹ đạo hình elip quanh Trái Đất vì lực hấp dẫn ràng buộc hai thiên thể này. Với Einstein, quỹ đạo của vệ tinh của chúng ta không phải được quyết định bởi các lực, mà bởi hình học của không gian. Quỹ đạo Mặt Trăng là hình elip vì hình elip là đường đi ngắn nhất trong không gian cong do lực hấp dẫn của Trái Đất gây ra. Nhà vật lý người Mỹ John Wheeler (1911-2008) đã tóm tắt ngắn gọn quan điểm mới này về thế giới như sau: "Vật chất quyết định độ cong của không gian, và không gian quyết định sự chuyển động của vật chất."

Như trong thuyết tương đối hẹp, thời gian và không gian cũng tạo thành cặp đôi không thể tách rời trong thuyết tương đối rộng. Sự biến dạng của một cái luôn đi kèm với sự biến đổi của cái kia. Chẳng hạn, khi vật chất tạo ra một trường hấp dẫn mạnh và làm cong không gian, thì thời gian cũng bị chậm lại bởi trường hấp dẫn này. Hãy lấy một lỗ đen làm ví dụ. Lỗ đen, được tạo ra từ cái chết của một ngôi sao nặng, nặng gấp khoảng mười lần khối lượng Mặt Trời hoặc hơn, có trường hấp dẫn lớn và không gian quanh nó cong mạnh tới mức ánh sáng cũng không thể thoát ra được nữa. Đó là một nhà tù thực sự của ánh sáng. Nếu bạn đang ở trên một tên lửa tiến gần tới

lỗ đen, thời gian của bạn được đo bởi người trên Trái Đất sẽ ngày càng dài cho đến khi nó hoàn toàn bị đóng băng khi tên lửa của bạn vượt qua bán kính không thể quay lui của lỗ đen (bán kính này là giới hạn mà bắt đầu từ đó bạn sẽ bị hút một cách không thể kháng cự nổi và bị nuốt gọn bởi lỗ đen)[1]. Do đó, để làm chậm tiến trình không ngừng của thời gian, chúng ta không chỉ nên chuyển động nhanh, như thuyết tương đối hẹp khuyên, mà còn có thể tới gần một trường hấp dẫn mạnh, như thuyết tương đối rộng đã dạy.

"Ban đầu là các nguyên lý"

Einstein, bằng cách loại bỏ ether, đã làm thay đổi triệt để các khái niệm thông thường của không gian và thời gian. Đó là bởi vì, để xây dựng lý thuyết của mình, ông đã không coi bất cứ điều gì là chắc chắn và không ngần ngại xem xét lại các nền tảng của vật lý. Ông muốn bắt đầu lại từ các nguyên lý ban đầu. "Ban đầu là các nguyên lý", như ông thường nói. Chính những nguyên lý này đã mang lại cho thế giới sự nhất quán và hài hòa. Chính chúng sẽ dẫn dắt chúng ta đến chân lý. Thay vì ở lại mặt đất và chỉ nhìn thấy những sự kiện cô lập, rời rạc ở đây đó – như trường hợp của hầu hết các nhà nghiên cứu – Einstein đã vươn lên cao

---

[1] Để biết chi tiết hơn, độc giả có thể xem thêm mục "Lỗ đen" trong cuốn *Petit dictionnaire amoureux du ciel et des étoiles* (Từ điển yêu thích bầu trời và các vì sao) của cùng tác giả, NXB Tri Thức.

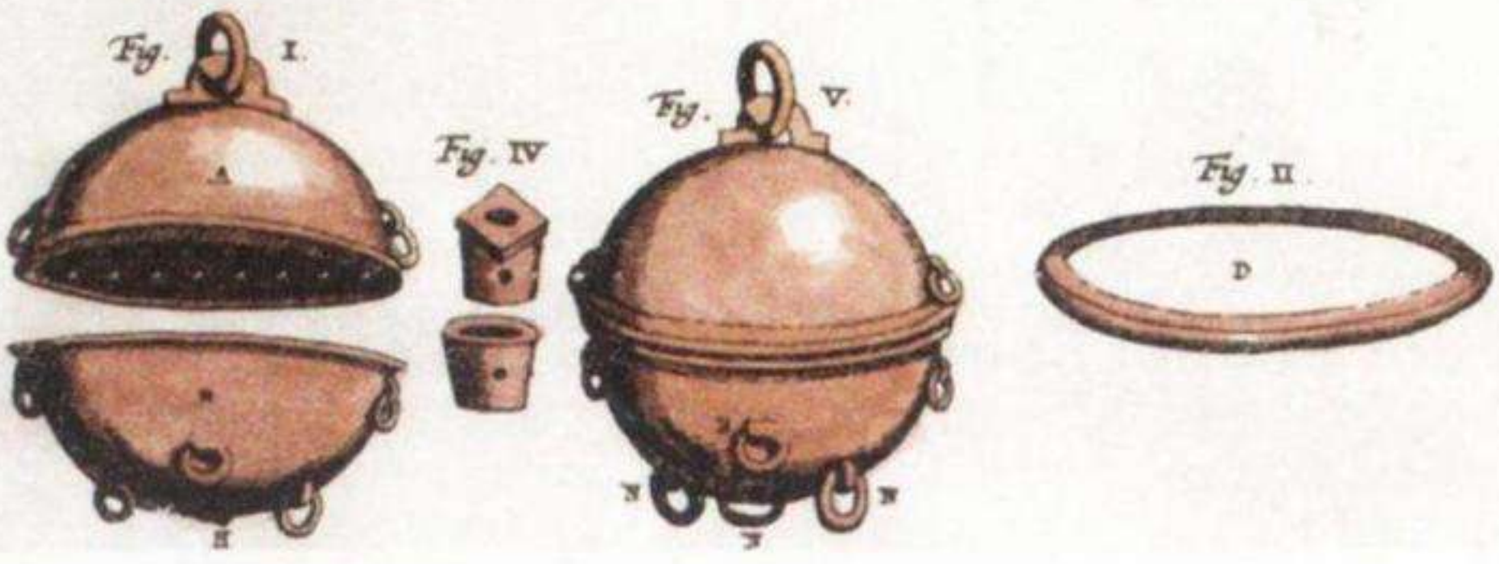
chiêm ngưỡng toàn cảnh vật lý để có thể sáng tạo bản giao hưởng của riêng mình.

Vậy làm thế nào để nhận ra các nguyên lý đúng? Einstein có niềm tin triết học và thậm chí cả tâm linh rằng tiêu chuẩn đầu tiên của chân lý của một nguyên lý là nó phải đẹp: lý thuyết đúng khi nó đẹp; bởi lẽ tự nhiên rất đẹp, nên các lý thuyết mô tả nó cũng cần phải đẹp. Đối với nhà vật lý, điều đặc trưng cho vẻ đẹp của một lý thuyết là sự nhất quán, hài hòa và sự "hoàn hảo nội tại" của nó. Đây là những phẩm chất mang lại cho nó sự "mầu nhiệm". Vì vậy, Einstein đã viết về thuyết tương đối rộng, ở cuối bài báo đầu tiên về chủ đề này như sau: "Bất cứ ai hiểu được lý thuyết này sẽ không thể thoát khỏi ma thuật của nó". Bởi vì các nguyên lý là những vật liệu cơ bản, nên người ta sẽ không dùng các thực kiện thực nghiệm làm điểm xuất phát để xây dựng một lý thuyết. Không phải Einstein coi thường các kết quả thực nghiệm và quan sát, nhưng ông không muốn bắt đầu từ đó. Ông thiên về lý thuyết hơn thí nghiệm, ý tưởng hơn thực tế. Sự đối đầu của lý thuyết với thí nghiệm là cần thiết, nhưng nó xảy ra ở giai đoạn sau, sau khi lý thuyết đã được xây dựng xuất phát từ các nguyên lý đến từ tư duy. Vậy là tự nhiên không được quan sát thấy, mà được *tư duy* bởi Einstein.

Cứ như nhờ cú vẫy chiếc đũa thần, Einstein, một bậc thầy phù thủy, đã "làm rỗng" không gian của vũ trụ, một cõi giới vô cùng rộng lớn, bằng cách tống khứ chất ether giả định. Thế còn thế giới của những cái vô cùng bé, thế giới của các nguyên tử và các hạt hạ nguyên tử thì sao?

◀ 1. Thí nghiệm khí áp kế dùng nước của Pascal ở Rouen, năm 1647. Áp suất khí quyển làm cho cột nước dâng lên cao gấp 13 lần so với thủy ngân trong ống thẳng đứng (khoảng 10,3 m) do nước có khối lượng riêng nhỏ hơn thủy ngân khoảng 13 lần.

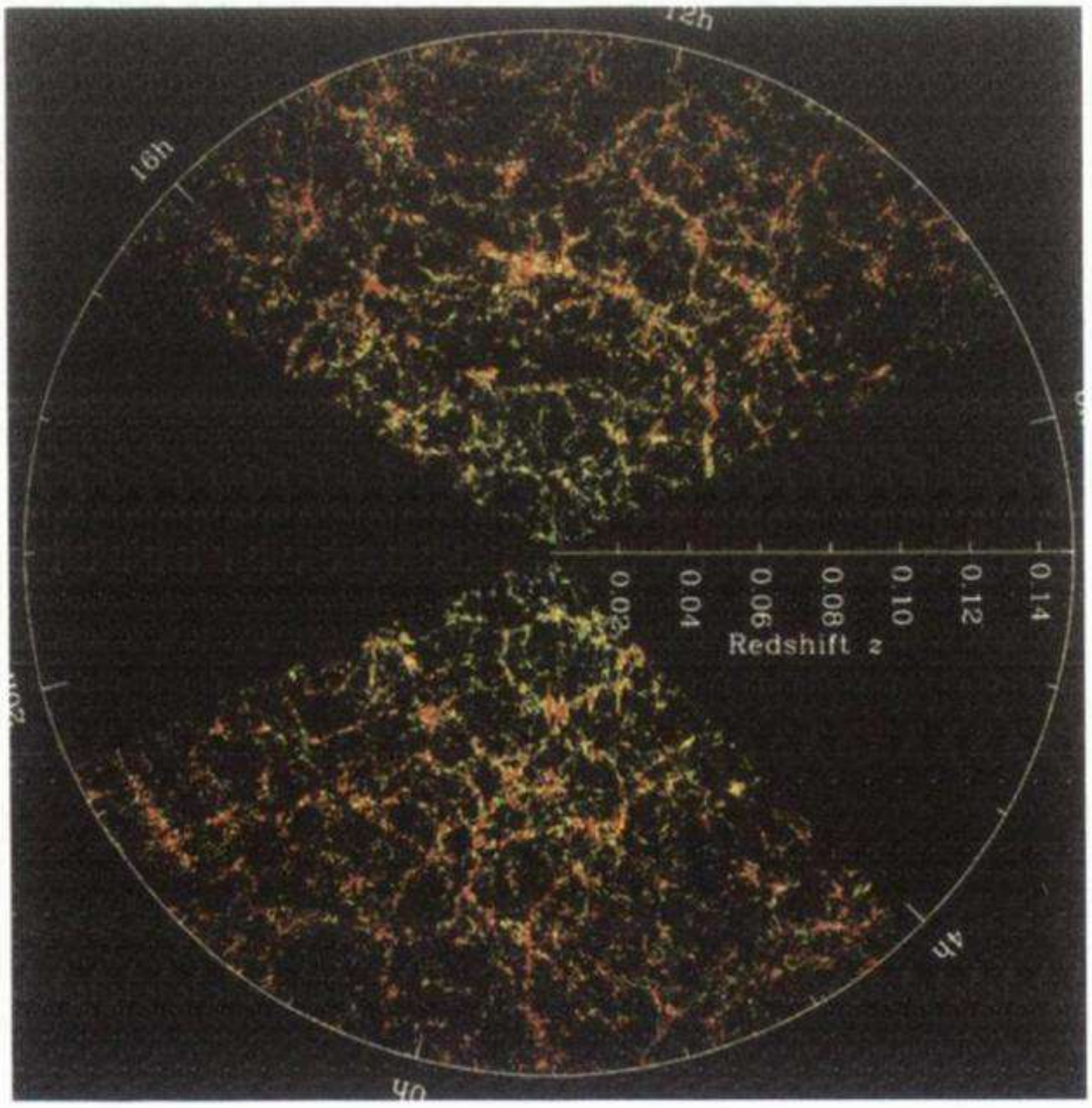
2. Thí nghiệm các bán cầu Magdeburg. Vào năm 1654, kỹ sư Otto von Guericke, thị trưởng thành phố Magdeburg (Đức), đã dùng thí nghiệm ngoạn mục này để chứng minh trọng lượng không khí tác dụng lên các vật: một khi hút hết không khí bên trong quả cầu ghép từ hai bán cầu, áp lực tác dụng lên chúng lớn tới mức hai dàn móc do tám ngựa kéo mỗi bên, kéo về hai phía cũng không thể tách được chúng ra. ▼



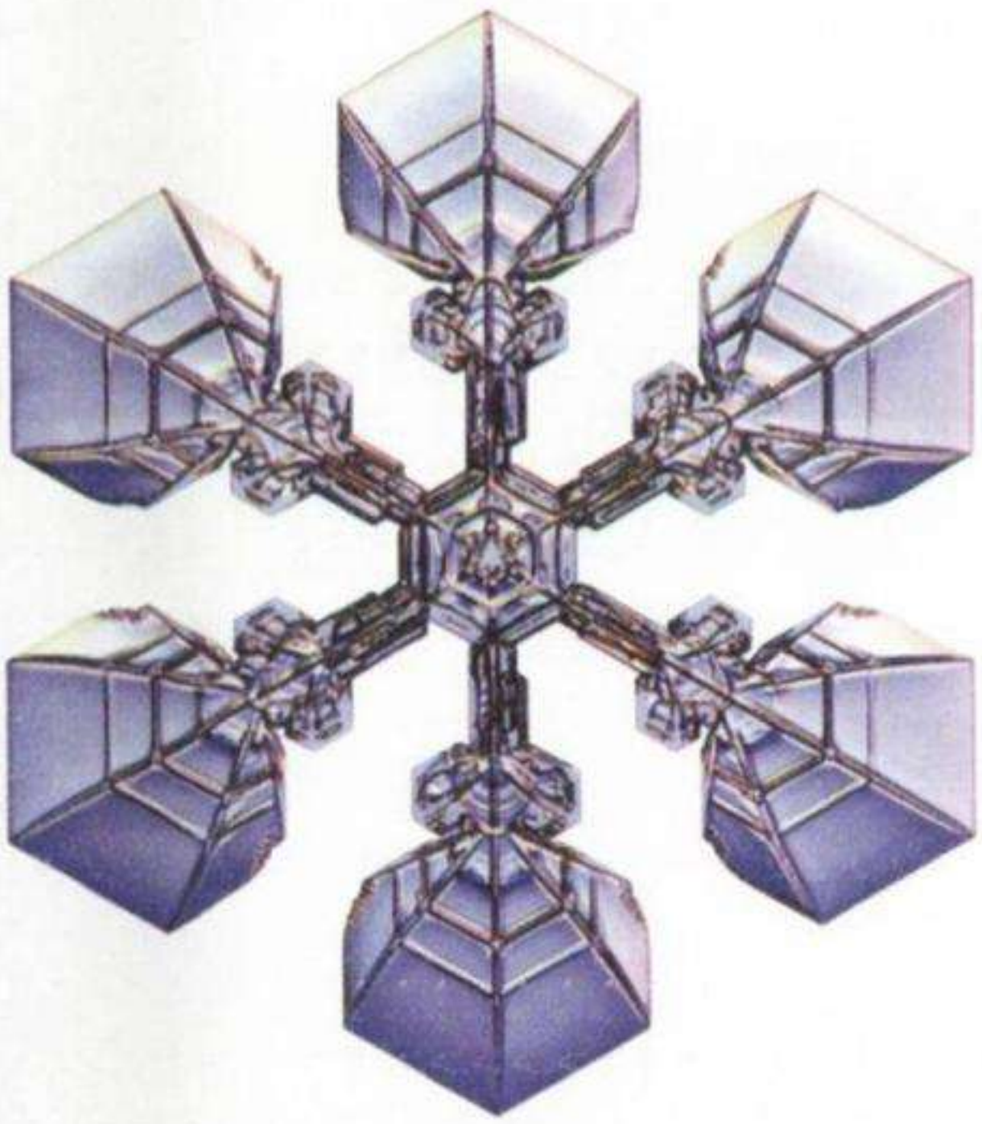
▲ 3. Mặt Trăng lặn phía sau Trái Đất và khí quyển của nó. Lớp khí quyển của Trái Đất rất mỏng nhưng lại rất quan trọng cho phép chúng ta tồn tại. Khí quyển có màu xanh chứ không phải là trắng như ánh sáng Mặt Trời, bởi vì các phân tử không khí chủ yếu làm tán xạ ánh sáng xanh. Bức ảnh do tàu con thoi *Discovery* chụp vào tháng 7 năm 1995.

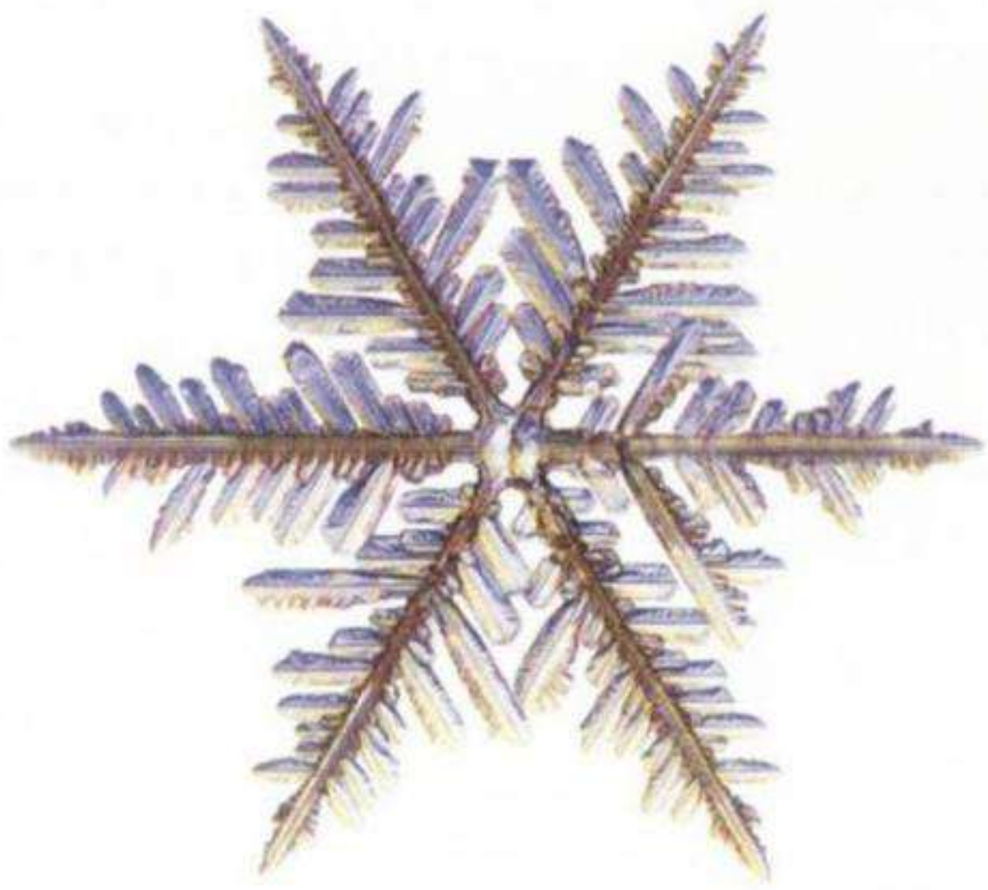
4. Hình ảnh đám thiên hà IDCS J1426+3506 tổ hợp từ các bức ảnh chụp bởi ba trạm quan sát vũ tr Chandra bằng tia X (màu xanh lơ), Hubble bằng án sáng nhìn thấy (màu xanh lá cây) và Spitzer bằng án sáng hồng ngoại (màu đỏ). Chúng ta quan sát đá thiên hà này, cách Trái Đất 10 tỷ năm ánh sáng, và thời điểm vũ trụ có tuổi bằng một phần ba số tu hiện tại (13,8 tỷ năm). Có khối lượng tương đương v khoảng 500.000 tỷ Mặt Trời, đây là một trong nhữ đám thiên hà nặng nhất được biết tới của vũ trụ nơ trẻ lúc đó. Khoảng 90% khối lượng của đám thiên h này là dưới dạng vật chất tối ngoại lai. ▼

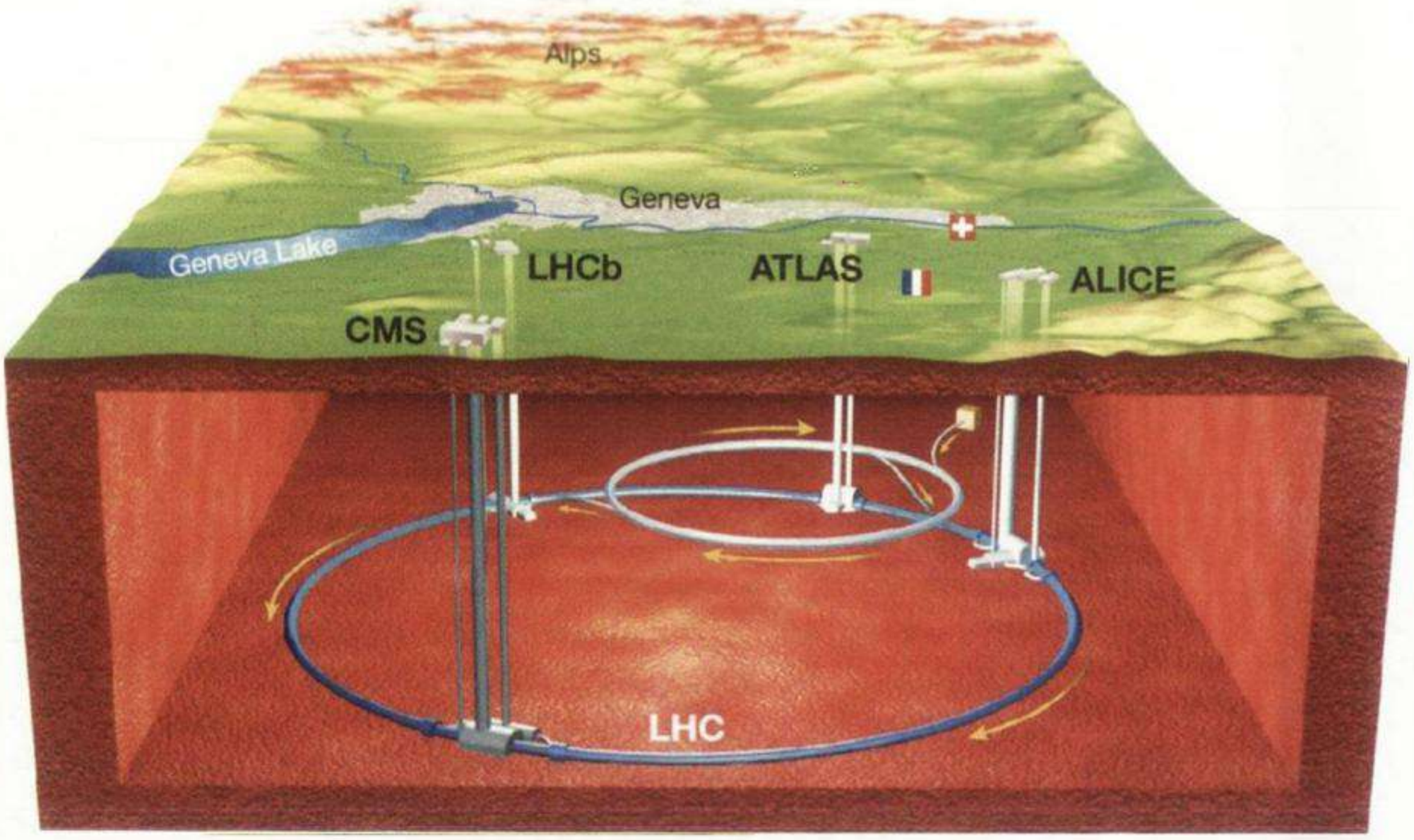
5. Bản đồ này của vũ trụ được lập bởi nhóm các nhà thiên văn thuộc dự án *Sloan Digital Sky Survey*. Trái Đất nằm ở tâm của vòng tròn và mỗi điểm trên bản đồ biểu diễn một thiên hà. Bản đồ này cho thấy cấu trúc tuyệt vời của vũ trụ: lực hấp dẫn đã tổ chức các thiên hà thành một mạng lưới vũ trụ rộng lớn trong đó các sợi được tạo bởi những cấu trúc khổng lồ gần như là thẳng ("tường" và sợi các thiên hà) trải dài hàng trăm triệu năm ánh sáng, và các ô lưới là những khoảng không gian trống rỗng có đường kính hàng chục triệu năm ánh sáng. ▸



6. Các bông tuyết có cấu trúc tinh thể với đối xứng xuyên tâm lục giác. Dưới đây là hai ví dụ. ▾





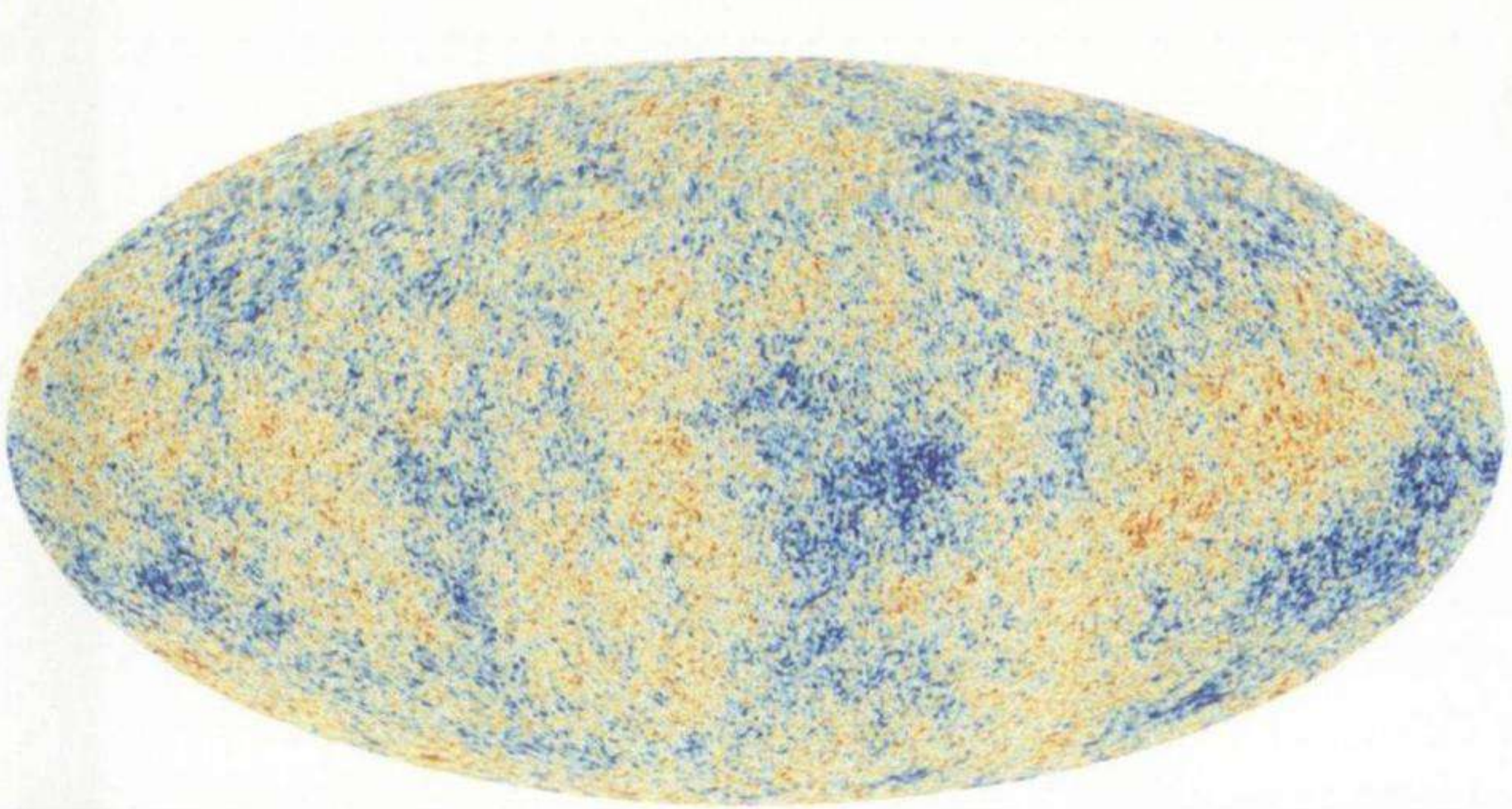


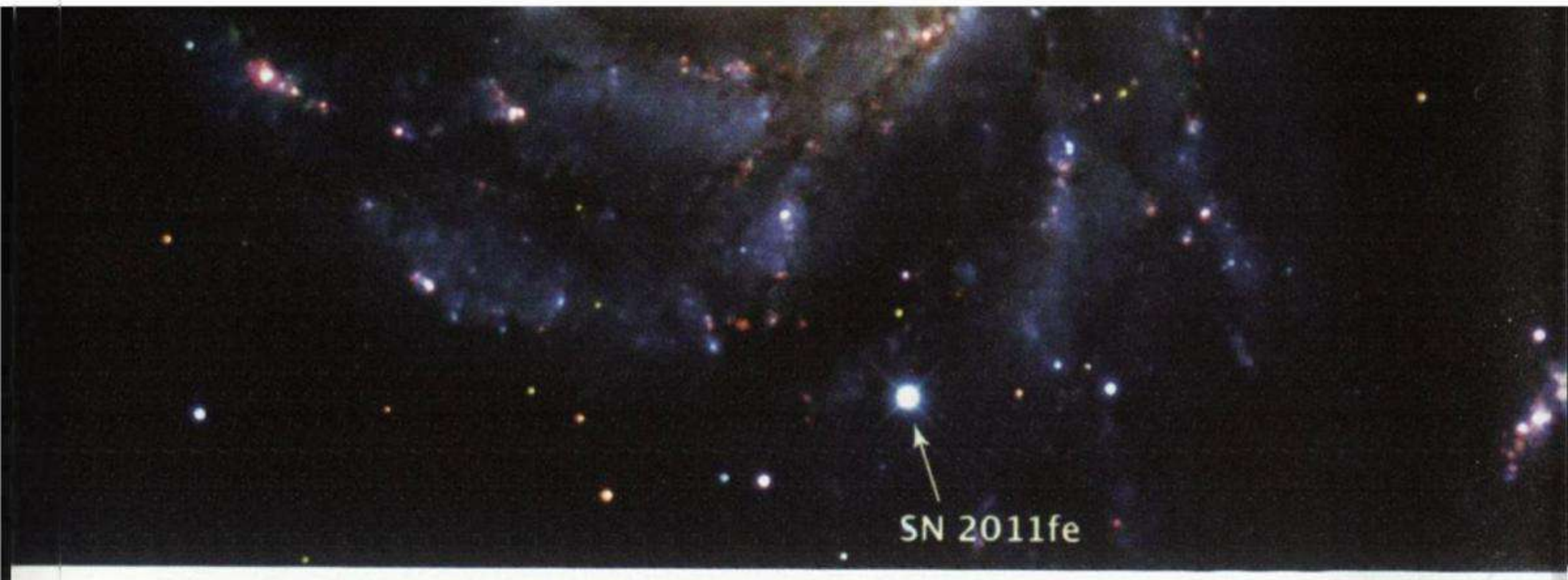
▲ 7. a) Máy LHC (*Large Hadron Collider*), bắt đầu hoạt động năm 2008 ở CERN, là máy gia tốc hạt lớn và mạnh nhất thế giới. Nó được đặt trong một đường hầm hình tròn, có chu vi dài 27 km, ở độ sâu trung bình 100m dưới biên giới Pháp-Thụy Sỹ, gần Geneva. Vị trí của bốn máy dò hạt lớn nhất của LHC (ATLAS, CMS, LHCb và ALICE) được ghi rõ trên hình.

7. b) Trong máy gia tốc hạt, hai chùm hạt, định hướng bởi các nam châm cực mạnh, chuyển động theo hai hướng ngược nhau trong các ống riêng rẽ với tốc độ gần bằng tốc độ ánh sáng. Khi chúng va chạm với nhau (tại bốn vị trí đặt máy dò), năng lượng giải phóng ra lớn gần bằng năng lượng của vũ trụ nguyên thủy tại thời điểm một phần ngàn tỷ giây sau Big Bang. ▼

▲ 8. Hạt boson Higgs, hạt tạo ra khối lượng cho tất cả các hạt vật chất, đã được phát hiện vào tháng 7 năm 2012 bởi máy dò CMS, bằng cách phân tích các quỹ đạo cong (màu vàng) của các hạt được sinh ra bởi va chạm khủng khiếp giữa hai chùm proton chuyển động ngược hướng nhau, đi tới va chạm với nhau trong máy LHC.

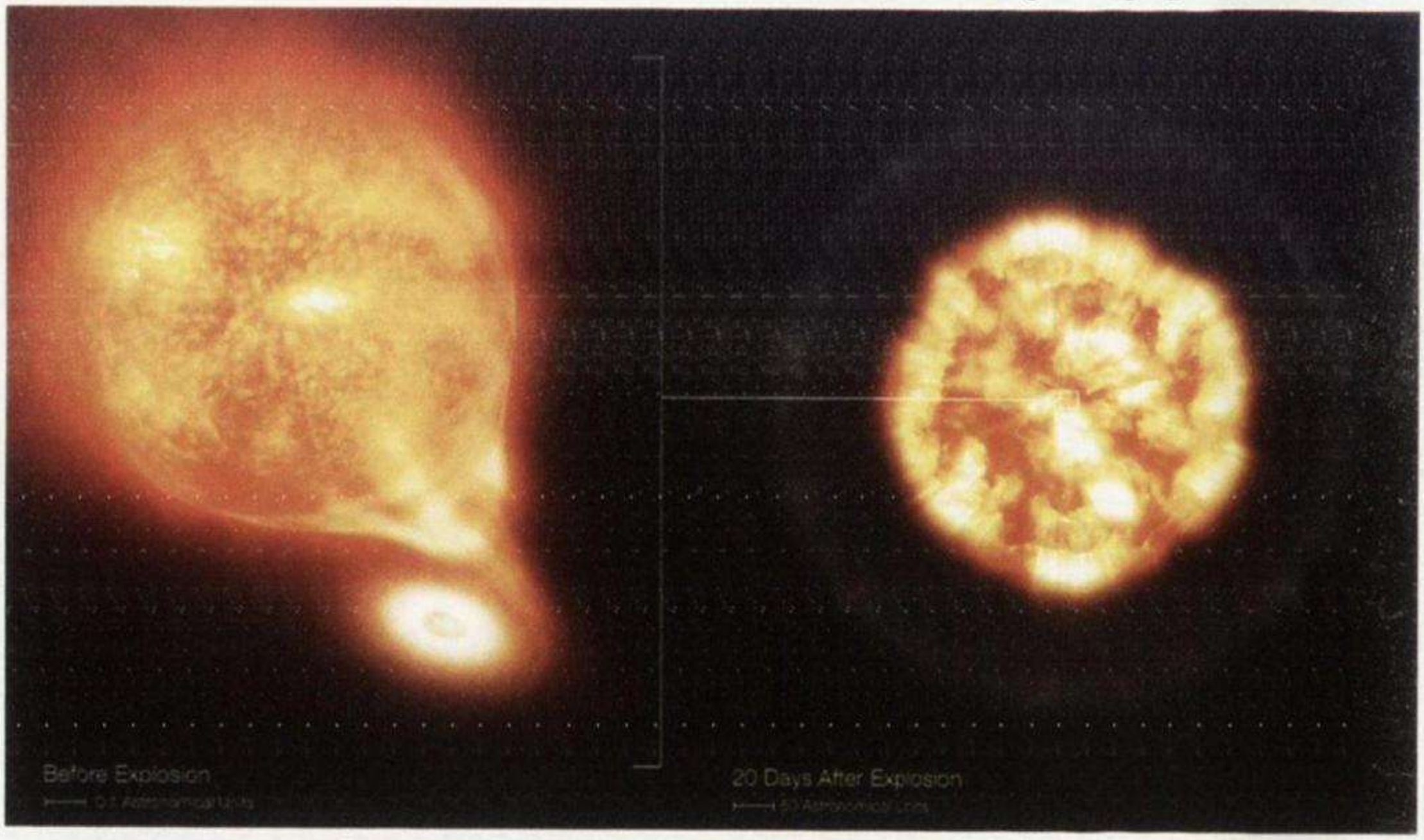
9. Bức xạ nền (hay bức xạ hóa thạch) của vũ trụ tới chúng ta từ lúc vũ trụ chỉ mới 380.000 năm tuổi. Bản đồ chi tiết nhất về bức xạ này được thực hiện bởi vệ tinh Planck của Trung tâm vũ trụ châu Âu trong giai đoạn 2009-2013. Bản đồ bức xạ nền cho thấy nhiệt độ của vũ trụ (đã nguội đi nhiều, nhiệt độ trung bình hiện chỉ bằng 2,725 độ trên độ không tuyệt đối) rất đồng đều. Nhưng có những thăng giáng nhiệt độ rất nhỏ (cỡ một phần trăm ngàn độ), gây ra bởi những chênh lệch về mật độ vật chất vô cùng bé, các thăng giáng này sẽ lớn lên và tạo thành hạt mầm của các thiên hà. ▼



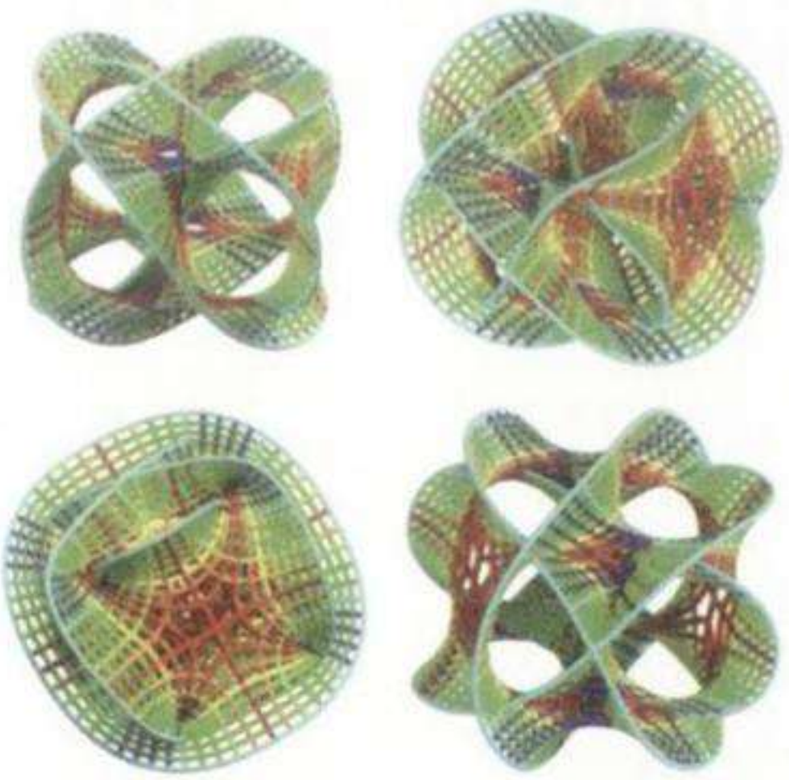


▲ 10. a) Các siêu tân tinh kiểu Ia tạo thành các cọc tiêu để đo sự tăng tốc của vũ trụ. Chẳng hạn một siêu tân tinh (điểm sáng chỉ bởi mũi tên) đã được phát hiện vào năm 2011 trong thiên hà xoắn ốc Messier 101, cách Trái Đất 23,6 triệu năm ánh sáng.

10. b) Một siêu tân tinh kiểu Ia tạo thành từ vụ nổ sao lùn trắng. Lực hấp dẫn của nó hút lớp vật chất khí bọc ngoài ngôi sao cặp đôi với nó (trái). Vật chất tích tụ trên bề mặt sao lùn trắng, làm nhiệt độ của nó tăng lên tới 600 triệu độ, gây ra một vụ nổ nhiệt hạch khủng khiếp (phải). ▼

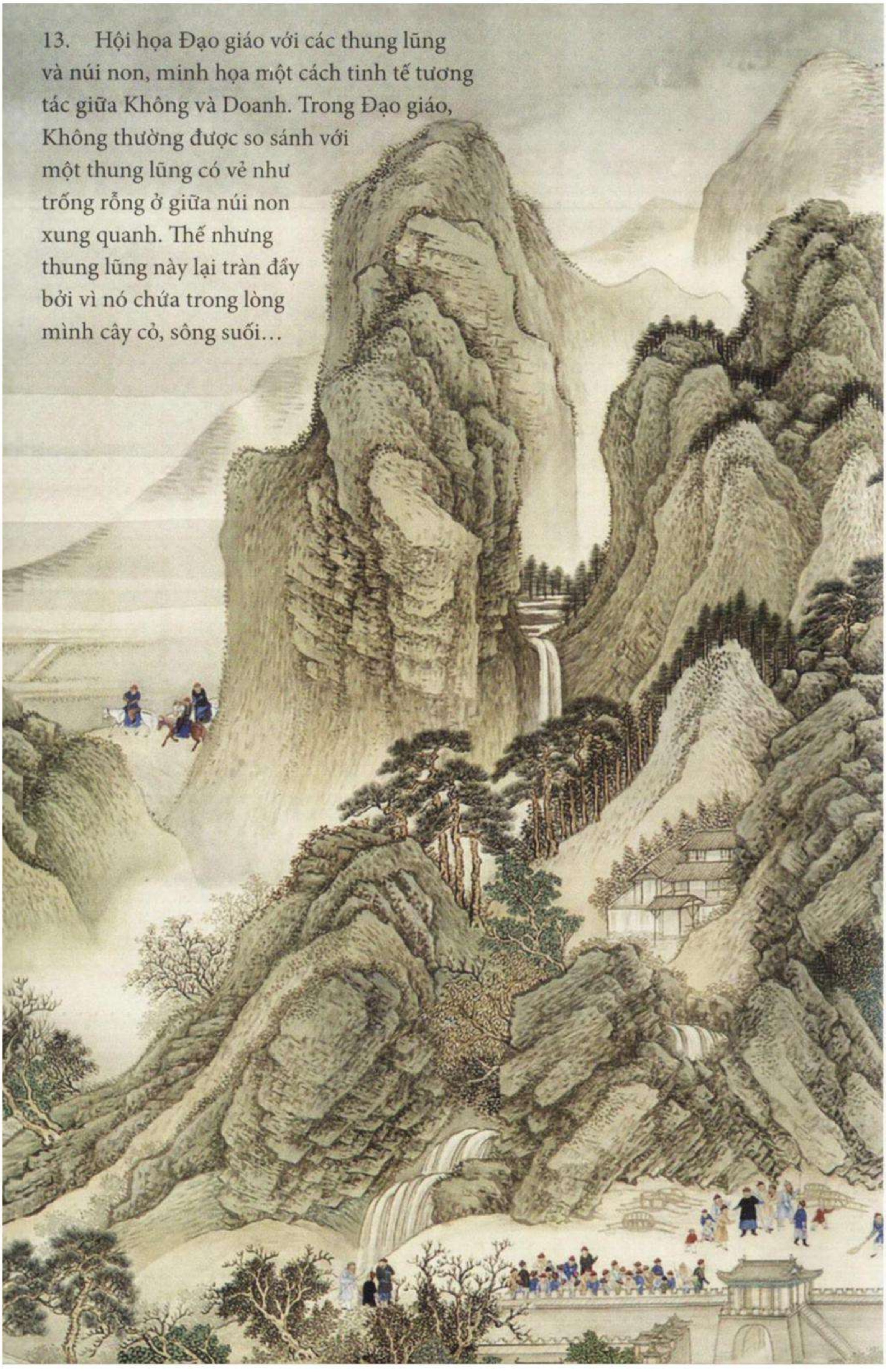


11. Bốn dạng Calabi-Yau trong số 10500 dạng khả dĩ. Trong phiên bản đơn giản nhất, lý thuyết dây đòi hỏi thêm sáu chiều không gian, cuộn chặt lại, làm chúng trở nên không thể nhìn thấy được. Sự dồi dào tuyệt vời của các dạng Calabi-Yau tạo nên sự vô cùng đa dạng các cách mà các chiều không gian này có thể cuộn lại. ▶



12. Thiên hà Andromeda (hay Messier 31) cách Trái Đất 2,3 triệu năm ánh sáng, là thiên hà giống và gần nhất của dải Ngân Hà. Cùng với dải Ngân Hà, nó chiếm tỷ trọng lớn khối lượng của Cụm thiên hà địa phương bao gồm thêm khoảng 20 thiên hà lùn có khối lượng nhỏ hơn. ▼

13. Hội họa Đạo giáo với các thung lũng và núi non, minh họa một cách tinh tế tương tác giữa Không và Doanh. Trong Đạo giáo, Không thường được so sánh với một thung lũng có vẻ như trống rỗng ở giữa núi non xung quanh. Thế nhưng thung lũng này lại tràn đầy bởi vì nó chứa trong lòng mình cây cỏ, sông suối…



IV.

Chân không lượng tử

Nguyên tử và con người

Thuyết tương đối của Einstein và cái chết của ether chỉ là một phần của lịch sử vật lý thế kỷ 20. Sự phát triển của cơ học lượng tử, vật lý của cái vô cùng bé, chiếm phần còn lại. Trong khi thuyết tương đối là sản phẩm của một cá nhân kiệt xuất, làm việc xa môi trường học thuật, thì cơ học lượng tử là kết quả của trực giác và lao động tập thể của một nhóm người xuất chúng, gồm có Niels Bohr (1885-1962) người Đan Mạch, Max Planck (1858-1947) và Werner Heisenberg (1901-1976) người Đức, Paul Dirac (1902-1984) người Anh, Wolfgang Pauli (1900-1958) người Thụy Sĩ và Erwin Schrödinger (1887-1961) người Áo, hợp tác làm việc tại các trung tâm đại học khác nhau ở châu Âu. Chính Einstein cũng đóng vai trò quyết định trong cuộc cách mạng lượng tử này, cuộc cách mạng sẽ làm thay đổi một cách căn bản quan niệm của chúng ta về chân không.

Vào thế kỷ 5 trước CN, các triết gia Hy Lạp Leucippus và Democritus, như chúng ta đã biết, là những người đầu tiên phát triển ý tưởng cho rằng vật chất được cấu tạo từ các thực thể cơ bản, không thể phân chia, gọi là "nguyên tử", chuyển động không ngừng trong một vũ trụ trống rỗng và vô hạn. Vì không có bằng chứng thực nghiệm, nên mọi thứ chỉ dừng lại đó trong suốt hai mươi mốt thế kỷ tiếp theo. Ý tưởng về nguyên tử đã bị che khuất để nhường chỗ cho bộ tứ nguyên tố cơ bản của Aristotle: nước, không khí, đất và lửa.

Chỉ tới giai đoạn Phục Hưng, vào những năm 1600, ý tưởng về nguyên tử lại trỗi dậy và được xem xét một cách nghiêm túc. Lấy cảm hứng từ bài thơ vũ trụ tuyệt vời *De rerum natura* của nhà thơ La Mã Lucretius, một bản tụng ca tuyệt vời triết lý nguyên tử, nhà triết học người Pháp Pierre Gassendi (1592-1655) đã khẳng định sự cần thiết phải làm các thực nghiệm để kiểm tra sự tồn tại của nguyên tử. Nhiều người đã lên tiếng ủng hộ giả thuyết nguyên tử. Nhà vật lý học và hóa học người Ireland Robert Boyle (1627-1691) đã thông báo vào năm 1662 rằng có thể giải thích định luật về tính nén được của các khí nếu coi chúng được tạo từ các nguyên tử. Antoine de Lavoisier (1743-1794) người Pháp, được coi là cha đẻ của hóa học hiện đại, đã có một bước tiến quan trọng khác để chứng minh sự tồn tại của các nguyên tử bằng cách chứng minh rằng không khí và nước đều được tạo từ các nguyên tố hóa học kết hợp với nhau theo một tỷ lệ cố định. Các công trình xuất sắc này, thật thảm thương là không thể cứu ông khỏi lưỡi dao của chiếc máy chém thời kỳ Khủng bố năm

1794, bởi vì để có tiền cho công việc nghiên cứu khoa học của mình, ông đã phải giữ chức quan thầu thuế (*fermier general*). Vào năm 1808, nhà bác học người Anh John Dalton (1766-1844) đã chứng minh được rằng hành vi của các nguyên tố hóa học có thể giải thích được nếu như mỗi nguyên tố đó được cấu thành từ một loại nguyên tử khác nhau, đặc trưng bởi khối lượng nguyên tử riêng của nó.

Mendeleev và bảng tuần hoàn các nguyên tố

Nhưng chính nhà hóa học người Nga Dmitri Mendeleev (1834-1907) mới là người có bước đi quyết định chứng minh sự tồn tại của các nguyên tử (hình bên). Ông đã thành công trong việc sắp xếp trật tự trong thế giới các nguyên tố hóa học mà dường như đang nảy nở một cách hỗn loạn. Mendeleev có ý tưởng thiên tài là sắp xếp các nguyên tố theo khối lượng nguyên tử của chúng. Như một phép lạ, các nguyên tố có cùng tính chất hóa học tự động sắp xếp theo quy luật (hay có tính tuần hoàn), gióng thẳng theo cùng một cột. Tất cả các cột này tạo thành cái ngày nay gọi là "Bảng tuần hoàn các nguyên tố hóa học", điểm trang trên tường các lớp học ở các trường trung học trên khắp thế giới. Khi Mendeleev lập ra bảng này vào năm 1869, chỉ mới

có 63 nguyên tố hóa học được biết đến trong tổng số 118 hiện được liệt kê[1]. Do đó bảng vẫn còn chứa các ô trống. Nhưng Mendeleev rất tự tin trong khám phá của mình: nếu có các ô trống, thì đó không phải là vì tự nhiên không có cảm tình đối với một số nguyên tố hóa học, mà là bởi vì con người chưa tìm ra mà thôi. Những khám phá sau này chứng tỏ ông đã đúng. Thành công này đã đưa tên tuổi Mendeleev trở nên nổi tiếng trên toàn thế giới, ngoại trừ ở đất nước của mình, nơi mà quan điểm chính trị quá tự do của ông làm phiền lòng các Sa hoàng...

Việc các nguyên tố hóa học được sắp xếp theo khối lượng nguyên tử của chúng trong bảng tuần hoàn của Mendeleev cho thấy các nguyên tử không thể nào hoàn toàn giống nhau, mà có mức độ phức tạp khác nhau, các nguyên tử nặng nhất cũng sẽ phức tạp nhất. Do đó nguyên tử không thể là đơn vị cơ bản không thể phân chia được của vật chất, như Democritus và Leucippus đã nghĩ. Trái lại, nó phải có một cấu trúc nội tại và được tạo nên từ các hạt còn cơ bản hơn. Nhưng cho đến lúc đó chưa có ai từng nhìn thấy một nguyên tử, chứ đừng nói gì tới cấu trúc bên trong của nó.

---

[1] Trong 118 nguyên tố được sắp xếp (tới 10/2014), có 88 nguyên tố tìm thấy được trên Trái Đất, các nguyên tố còn lại được tổng hợp trong phòng thí nghiệm. 80 nguyên tố là bền vững, các nguyên tố còn lại có tính phóng xạ, tức là chúng sẽ tự phân rã sau một khoảng thời gian nhất định.

Chân không trong nguyên tử

Nhà vật lý người Anh Joseph J. Thomson (1856-1940) là người đầu tiên đưa ra được những bằng chứng thực nghiệm về cấu trúc bên trong của nguyên tử. Vào năm 1897, khi nghiên cứu sự phóng điện trong chất khí, ông đã phát hiện ra một hạt hạ nguyên tử với điện tích âm nhẹ hơn gần 2.000 lần so với nguyên tử hydrogen. Hạt cơ bản mới này được gọi là "electron" (điện tử), nghĩa là "hổ phách" theo tiếng Hy Lạp - người Hy Lạp đã nhận thấy hổ phách sở hữu một lực hút "điện" bí ẩn khi ta cọ xát nó với len. Đột phá tiếp theo được thực hiện bởi nhà vật lý người Anh Ernest Rutherford (1871-1937) (hình trên). Để khám phá bí mật cấu trúc của vật chất, ông đã có ý tưởng bắn phá nó bằng những viên đạn phóng ra hết tốc lực; hành vi của những viên đạn này trong quá trình tương tác với vật chất sẽ cho ta thông tin về thành phần nội tại của nó. Năm 1909, nhà vật lý bắt đầu tiến hành bắn các hạt nhân helium – còn gọi là hạt α (các nguyên tử helium bị tước hết các electron) – có tốc độ rất cao vào các lá vàng mỏng. Những gì phát hiện dược đã làm ông rất kinh ngạc: nếu đại đa số các hạt đi qua lá vàng như không có chuyện gì xảy ra, thì một phần rất nhỏ (một trong tám nghìn) bị phản xạ và quay ngược trở lại. Rutherford sau đó đã bình luận về kết quả thí nghiệm của mình như sau:

"Thật ngạc nhiên chẳng khác gì bạn bắn đạn đại bác vào một chiếc khăn giấy và viên đạn bị bật ngược trở lại!"

Những kết quả này làm lung lay mô hình nguyên tử từng tồn tại cho tới khi đó. Các nhà vật lý cho rằng nguyên tử tạo bởi các đám mây electron, được sắp xếp trong một vật rắn tựa như những quả táo xếp trong một cái thùng: chúng chiếm hầu hết không gian, chỉ để lại giữa chúng những khoảng trống nhỏ. Nhưng trong trường hợp này, thì không có hạt nào bắn vào với tốc độ cao lại bật ngược trở lại. Tất cả các hạt này phải xuyên qua mục tiêu một cách dễ dàng như viên đạn bắn xuyên qua tờ giấy. Vậy là Rutherford đã đẩy mô hình cũ của nguyên tử vào quên lãng và đề xuất một mô hình mới: mỗi nguyên tử của lá vàng không chỉ bao gồm một đám mây electron, mà còn có một hạt nhân đặc và rắn tới mức làm cho bất kỳ hạt nào va chạm trực diện với nó cũng phải bật ngược trở lại. Nhưng vì chỉ có một trong số tám ngàn hạt bị bật trở lại, nên hạt nhân chỉ chiếm một thể tích cực nhỏ so với tổng thể tích của nguyên tử, vì phần lớn các hạt đều trượt qua nó và xuyên qua lá vàng mà không bị cản trở gì.

Ngày nay chúng ta biết rằng một hạt nhân chỉ chiếm một phần triệu tỷ (10^{-15}) thể tích nguyên tử. Nói cách khác, kích thước của hạt nhân (10^{-13} cm) nhỏ hơn khoảng 100 ngàn lần so với đường kính của nguyên tử (10^{-8} cm). Có thể ví hạt nhân trong nguyên tử như một viên bi 1 cm trong một sân vận động dài 1 km vậy. Phần còn lại của nguyên tử chỉ là không gian trống rỗng, đây đó bị chiếm bởi các đám electron không ngừng chuyển động. Vì 99,999999999999999% thể tích của

nguyên tử là trống rỗng, nên chúng ta có thể nói rằng vật chất ở đây "gần như là chân không". Ngày nay chúng ta biết rằng hạt nhân nguyên tử được cấu tạo từ proton, nặng hơn electron 1836 lần và có điện tích trái dấu, và neutron, có khối lượng nặng hơn một chút (1%) so với proton, và không mang điện, chúng được liên kết với nhau bởi lực hạt nhân mạnh (ta sẽ còn trở lại khái niệm này cụ thể hơn). Mỗi proton và neutron lại được cấu tạo từ ba hạt cơ bản gọi là "quark", cũng được liên kết bởi lực hạt nhân mạnh.

Như vậy các vật rắn xung quanh chúng ta, và tạo ra vẻ đẹp và sự phức tạp của thế giới, như đồ đạc, cánh hoa hồng, bức *Nymphéas* (hoa loa kèn) của Monet, hoặc các bức tượng của Rodin, đều gần như trống rỗng. Vậy làm thế nào mà chúng lại là các vật rắn? Nếu vật chất gần như chỉ là không gian trống rỗng, chỉ gồm những đám electron quay cuồng trong phòng khiêu vũ khổng lồ của nguyên tử, thì tại sao tay chúng ta không thể xuyên qua bàn, hoặc đi xuyên tường giống như nhân vật của Marcel Aymé trong truyện ngắn cùng tên (Người xuyên tường)? Đó là do tác động tổng hợp của lực điện từ đối với các hạt có điện tích ở trong các nguyên tử, và các định luật lạ lùng của cơ học lượng tử chi phối hành vi của các electron chuyển động xung quanh hạt nhân.

Sự mờ nhòe lượng tử

Vậy là vật chất gần như trống rỗng. Nhưng điều gì sẽ xảy ra nếu chúng ta loại bỏ tất cả vật chất khỏi không gian? Liệu chúng ta có nhận được một chân không thực sự hay không? Đối với vật lý cổ điển, câu trả lời là chắc chắn có. James Maxwell, người thống nhất điện, từ và quang học, đã định nghĩa chân không là "cái còn lại sau khi đã loại bỏ tất cả mọi thứ có thể loại bỏ được ra khỏi vật chứa[1]". Ngược lại, với Bergson, chúng ta đã thấy, câu trả lời là không, bởi vì ngay cả khi tưởng tượng loại bỏ vật chất ra khỏi toàn bộ vũ trụ, ta vẫn không tiếp cận được hư vô bởi vì, xét cho cùng, nhà triết học sẽ vấp phải một trở ngại căn bản, đó chính là ý thức của ông ta: làm thế nào để loại bỏ được chính mình? Chúng ta sẽ thấy ở đây vật lý lượng tử cũng trả lời là không, không phải vì không thể loại bỏ được ý thức, mà vì việc loại bỏ "mọi thứ" là không thể trong thế giới nguyên tử và hạ nguyên tử. Sự bất khả thi này là hệ quả của cái được gọi là "sự mờ nhòe lượng tử", liên quan đến nguyên lý có tên là "nguyên lý bất định", nguyên lý chi phối thế giới của cái vô cùng bé.

Nguyên lý chi phối thế giới lượng tử này do nhà vật lý người Đức Werner Heisenberg (hình bên) đưa ra năm 1926. Nó cho chúng ta biết rằng thông tin có thể thu thập được từ một hạt cơ bản không bao giờ là hoàn chỉnh: hoặc đo vị trí của một electron với độ chính xác cao, trong trường hợp đó chúng ta

---

[1] James Maxwell, *Treatise on Electricity and Magnetism* (Luận về điện và từ).

phải từ bỏ ý muốn biết chính xác về động lượng (được định nghĩa là tích của khối lượng với tốc độ của hạt), hoặc chúng ta quan sát động lượng của nó với độ chính xác cao và đành phải chấp nhận rằng vị trí của nó là không chính xác, chúng ta hoàn toàn không bao giờ có thể xác định chính xác đồng thời cả động lượng và vị trí[1]. Nói cách khác, chúng ta không bao giờ có thể xác định được quỹ đạo của một hạt chính xác như mong muốn. Sự bất định này không bắt nguồn từ thực tế rằng chúng ta thiếu trí tưởng tượng trong tính toán của mình hoặc các thiết bị đo lường không đủ tinh xảo, mà đây là một tính chất cơ bản của tự nhiên. Và bởi vì thông tin có thể nhận được từ một hạt sẽ luôn luôn không đầy đủ, nên chúng ta không thể dự đoán chính xác tương lai của nó. Nguyên lý bất định chủ yếu tuyên bố rằng tri thức tuyệt đối là không thể và luôn tồn tại một giới hạn cơ bản cho kiến thức của chúng ta về thế giới vật chất nguyên tử và hạ nguyên tử. Đây chính là tiếng chuông báo hiệu sự cáo chung của thế giới tất định của Newton. Nó cũng làm tan vỡ ước mơ của nhà vật lý người Pháp Pierre Simon

---

[1] Về mặt định lượng, nguyên lý bất định của Heisenberg nói rằng tích của độ bất định về vị trí của một hạt với độ bất định về động lượng phải lớn hơn một số rất nhỏ gọi là "hằng số Planck", bằng $6{,}626070 \times 10^{-34}$ m^2 kg/s, chia cho 4π.

de Laplace, người ca tụng tất định luận sẽ tất thắng, để "thâu tóm trong cùng một công thức chuyển động của các vật lớn nhất trong vũ trụ và chuyển động của các nguyên tử nhẹ nhất[1]", cũng như biết được một cách chính xác quá khứ, hiện tại và tương lai của chúng. Thực tế, sẽ luôn tồn tại sự bất định về số phận của các nguyên tử.

Mặc dù vật chất hầu như trống rỗng, nhưng chính nguyên lý bất định của Heisenberg đã làm cho các vật trở nên rắn chắc, và chúng ta không thể thọc tay xuyên qua bức tường hay rơi qua sàn nhà được. Ta có thể tự hỏi cái gì đã ngăn cản, không cho các electron của một nguyên tử rơi vào hạt nhân của nó, và do đó phá hủy sự vững chắc của các vật. Nhờ lực điện từ làm cho các điện tích trái dấu hút nhau, các proton tích điện dương tạo nên hạt nhân nguyên tử sẽ hút các electron mang điện tích âm về phía nó. Tuy nhiên, nguyên lý bất định không cho các electron rơi vào hạt nhân: vì nếu có, chúng ta sẽ biết chính xác vị trí của chúng (đó là tâm nguyên tử) và tốc độ của chúng (bằng 0), điều này sẽ vi phạm nguyên lý bất định. Để đảm bảo sự vững chắc và tính không thể xuyên qua của các vật, có một nguyên lý khác cũng chi phối thế giới nguyên tử hỗ trợ cho nguyên lý Heisenberg. Đó là nguyên lý loại trừ của nhà vật lý Wolfgang Pauli. Nguyên lý này khẳng định rằng hai electron với các tính chất giống hệt nhau không thể nằm chính xác ở cùng một vị trí. Nghĩa là tồn tại một lực chống

---

[1] Pierre Simon de Laplace, *Essai philosophique sur les probabilités* (Tiểu luận triết học về xác suất).

lại việc các electron nằm chồng lên nhau trong hạt nhân các nguyên tử. Hành động phối hợp của nguyên lý bất định và nguyên lý loại trừ làm cho vật chất không bị co sụp lại, mặc dù nó trống rỗng.

Lại nữa, do đâu mà có một giới hạn cho hiểu biết của chúng ta bị áp đặt bởi nguyên lý bất định? Nó bắt nguồn từ chính hành động quan sát. Thực tế, ánh sáng vốn là phương tiện được ưa chuộng để xác định các tính chất của một hạt cơ bản, chẳng hạn như một electron. Để quan sát nó, tôi phải chiếu sáng nó bằng các hạt ánh sáng, hay photon. Mỗi photon có một năng lượng nhất định, tỷ lệ nghịch với bước sóng của nó. Như ta đã thấy, ánh sáng có hai mặt: nó vừa là hạt vừa là sóng, và bước sóng theo định nghĩa là khoảng cách giữa hai đỉnh (hoặc hai hõm) liên tiếp của sóng này. Độ chính xác mà ánh sáng có thể định vị electron phụ thuộc vào bước sóng của nó. Bước sóng càng dài, năng lượng càng thấp thì chi tiết càng mờ và thực tại càng ít rõ ràng. Ngược lại, bước sóng càng giảm thì năng lượng càng tăng và chi tiết càng trở nên chính xác và thực tại càng được xác định. Vì vậy, nếu tôi chiếu sáng electron bằng ánh sáng năng lượng rất thấp, ví dụ như ánh sáng radio, chẳng hạn, thì tôi chỉ có thể nói rằng nó nằm ở đâu đó trong một vùng rộng lớn có kích thước bằng bước sóng của ánh sáng này, tức là từ vài centimet đến vài chục mét. Nếu tôi chiếu sáng electron bằng ánh sáng có năng lượng cao hơn, chẳng hạn như ánh sáng nhìn thấy của đèn pin, tôi có thể xác định vị trí với độ chính xác tới một vài phần trăm của phần nghìn centimet. Mặt khác, nếu tôi sử dụng ánh sáng gamma,

có năng lượng cao nhất, tôi có thể xác định vị trí của electron với độ chính xác cực cao cỡ một phần tỷ của milimet.

Vì vậy, bạn chắc sẽ nghĩ rằng không có vấn đề gì khi đo vị trí của electron với độ chính xác như bạn muốn: chỉ cần chiếu sáng bằng ánh sáng có năng lượng rất cao, như ánh sáng gamma. Nhưng vấn đề là ở chỗ chỉ vị trí của electron thôi thì không đủ để thâu tóm thực tại của nó. Động lượng của nó (mà cụ thể là tốc độ) cũng rất cần thiết. Nhưng bằng cách chiếu sáng electron để xác định vị trí của nó, chúng ta không thể tránh khỏi làm nhiễu động nó, vì các photon chiếu vào sẽ truyền cho electron năng lượng của chúng, điều này làm thay đổi hoàn toàn động lượng của electron. Và sự thay đổi này càng đáng kể khi năng lượng của ánh sáng càng lớn. Nói cách khác, càng làm giảm sự mờ nhòe của vị trí electron bằng cách chiếu sáng nó với các photon năng lượng cao hơn, chúng ta càng làm nhiễu động nó và làm tăng độ mờ nhòe động lượng của nó. Chính hành động cố gắng xác định là một nguồn gốc của sự bất định! Chẳng hạn nếu bạn đo vị trí của một electron với độ chính xác bằng kích thước của một nguyên tử, tức là một phần trăm triệu (10^{-8}) cm, thì sự bất định về tốc độ của nó sẽ lớn hơn một ngàn km/s. Nói cách khác, bạn sẽ không thể biết liệu electron di chuyển chậm như một con rùa hay nhanh hơn hàng ngàn lần so với máy bay siêu âm, nghĩa là bạn gần như không biết gì về chuyển động của nó.

Do đó sự mờ nhòe lượng tử đã áp đặt một giới hạn cho sự hiểu biết của chúng ta về thế giới nguyên tử và hạ nguyên tử. Nhưng có một câu hỏi phát sinh: tại sao sự mờ nhòe này

không ảnh hưởng đến các vật thể vĩ mô? Tại sao tôi có thể đo, ví dụ, cả vị trí và động lượng của một quả bóng bàn? Thực tế, hãy tưởng tượng bạn đang quay một trận đấu và sau đó phân tích các trình tự. Tại bất kỳ thời điểm nào, bạn cũng có thể đo chính xác cả vị trí lẫn tốc độ của quả bóng đi qua lại trên lưới. Bây giờ chúng ta hãy thay thế hai người chơi bóng bàn bằng hai nguyên tử trong một phân tử, thay vì đánh một quả bóng, chúng sẽ trao đổi các electron. Bây giờ bạn không thể tiến hành phân tích tương tự như trên, nghĩa là xác định chính xác cả vị trí và động lượng của chúng. Tại sao? Đó là bởi vì tổng số hạt của các vật thuộc đời sống vĩ mô là rất lớn, và do đó khối lượng của chúng cũng lớn hơn đáng kể so với hạt cơ bản. Do đó, khối lượng của quả bóng bàn lớn gấp hàng tỷ tỷ tỷ lần so với electron và vì khối lượng lớn này, hành động quan sát, trong trường hợp này là chiếu sáng vật thể vĩ mô, không hề làm nhiễu động chúng, và chúng ta có thể xác định chính xác vị trí và tốc độ của quả bóng bàn.

Đó là lý do tại sao nguyên lý bất định chỉ hoạt động ở thang nguyên tử và hạ nguyên tử. Ở thang này, cơ học lượng tử buộc chúng ta phải từ bỏ ước mơ xưa cũ của con người về kiến thức tuyệt đối. Các định luật tất định của Newton chỉ có giá trị ở thang vĩ mô mà thôi.

Bản chất kép của các hạt cơ bản

Do nguyên lý bất định, chúng ta không thể biết chính xác cả vị trí và động lượng, do đó không bao giờ có thể mô tả quỹ đạo của electron xung quanh hạt nhân nguyên tử như nói về quỹ đạo của một hành tinh xung quanh Mặt Trời. Trong nguyên tử, một electron không ngoan ngoãn đi theo một quỹ đạo duy nhất như một hành tinh, mà có thể cùng một lúc ở khắp mọi nơi. Từ đâu lại có khả năng hiện diện ở khắp mọi nơi này? Đó là từ bản chất kép của electron. Thật vậy, cơ học lượng tử nói rằng, như bất kỳ hạt cơ bản nào, electron có thể là sóng hoặc hạt tùy thuộc hoàn cảnh. Khi chúng ta không quan sát nó, nó sẽ mang tính chất sóng. Chỉ khi nhà thực nghiệm kích hoạt công cụ đo lường của mình thì nó mới chuyển sang tính hạt. Nói cách khác, quan sát làm thay đổi thực tại và tạo ra một thực tại mới. Là một sóng, electron lan truyền để chiếm toàn bộ không gian trống rỗng của nguyên tử, cũng như các sóng tròn do một hòn đá ném xuống ao sẽ lan tỏa khắp mặt nước. Dạng của sóng cho biết xác suất tìm thấy electron ở vị trí nào đó: ta có nhiều khả năng gặp được electron ở đỉnh sóng nơi có biên độ lớn nhất so với các nút sóng nơi biên độ nhỏ nhất[1]. Tất cả mọi thứ chỉ là xác suất, và tất định luận đã bị trục xuất ra khỏi thế giới nguyên tử và hạ nguyên tử.

Cơ học lượng tử đã đảo lộn hoàn toàn quan điểm của chúng ta về thế giới. Nó đã thay thế vũ trụ cơ giới của Newton,

---

[1] Dạng sóng xác suất của một hạt cơ bản có thể được tính từ một phương trình do nhà vật lý người Áo Erwin Schrödinger đưa ra vào năm 1926.

với các hạt vật chất bất động, ngoan ngoãn mù quáng tuân theo các lực bên ngoài, bị chi phối bởi một số nhỏ các định luật vật lý, không có tự do và sáng tạo, bằng một vũ trụ không tất định và đầy sáng tạo, nơi mà cả tự do và ngẫu nhiên đều có ảnh hưởng, và nơi mà tương lai không chứa đựng trong hiện tại và quá khứ. Thay vì được xác định trước như một bản nhạc cổ điển, số phận của vũ trụ là mở. Tự nhiên giống như một loại nhạc jazz. Tựa như khi một nghệ sĩ nhạc jazz ứng tấu xung quanh một chủ đề chung để tạo ra âm thanh mới, tự nhiên thêu dệt dựa trên các định luật vĩnh hằng của vật lý để tạo ra vẻ đẹp và sự phức tạp của thế giới.

Các hạt với sự tồn tại ma quái

Sự mờ nhòe lượng tử cũng đã cách mạng hóa quan niệm của chúng ta về chân không. Thực tế, nguyên lý bất định không chỉ ngăn cản chúng ta biết được chính xác đồng thời vị trí và động lượng của một hạt cơ bản, mà còn ngăn cấm chúng ta cùng lúc biết chính xác năng lượng của một hạt và thời gian sống của nó[1]. Nói cách khác, độ chính xác mà ta đạt được khi đo năng lượng của một hạt phụ thuộc vào tuổi thọ của nó. Tuổi thọ càng ngắn, năng lượng của nó càng bất định. Ngược lại, tuổi thọ của một hạt càng dài thì năng lượng của

---

[1] Chính xác hơn, tích của độ bất định về năng lượng của một hạt cơ bản với độ bất định về thời gian sống của nó phải lớn hơn giá trị của hằng số Planck chia cho 4π.

nó sẽ càng được đo chính xác hơn. Để đo được năng lượng với độ chính xác vô hạn sẽ đòi hỏi một thời gian vô tận.

Chính sự mờ nhòe này đã cho phép thế giới nguyên tử và hạ nguyên tử vi phạm định luật bảo toàn năng lượng và khi làm như vậy, đã tạo ra trong chân không vô số các hạt được mệnh danh là "ảo" – trong khi định luật này không thể bị vi phạm, dù là nhỏ nhất, trong thế giới vĩ mô. "Không có gì là miễn phí trên đời này, mọi thứ đều có giá của nó. Ta chỉ có cái mà ta xứng đáng", ta có thể tóm tắt định luật bảo toàn năng lượng như thế. Định luật này khiến cho một chiếc xe chỉ có thể chạy nếu chúng ta đổ đầy bình nhiên liệu của nó. Nó buộc chúng ta phải làm việc và tiêu tốn năng lượng để nuôi sống mình. Mọi thứ không đột nhiên xuất hiện chỉ vì ta mong muốn, để sở hữu chúng, chúng ta phải trả bằng tiền mồ hôi nước mắt.

Tuy nhiên, nhờ sự mờ nhòe của nguyên lý bất định, cơ học lượng tử cho phép vi phạm định luật bảo toàn năng lượng mà không phải trả giá. Trong thế giới nguyên tử và hạ nguyên tử, tự nhiên có thể cho vay năng lượng miễn phí mà không cần bất cứ điều gì đáp lại, và đến lượt mình, năng lượng này lại có thể tạo ra các hạt cơ bản với một khối lượng nhất định[1]. Nhưng hoạt động của ngân hàng Tự nhiên được quy định chặt chẽ theo nguyên lý bất định. Những khoản vay năng lượng này

---

[1] Theo công thức nổi tiếng của Einstein mô tả sự tương đương của khối lượng và năng lượng $E = mc^2$, khối lượng của hạt cơ bản bằng năng lượng của nó chia cho bình phương của tốc độ ánh sáng.

không thể kéo dài vô thời hạn, sớm hay muộn cũng sẽ phải được hoàn trả, và lượng năng lượng mượn càng lớn, thì việc hoàn trả phải càng nhanh. Mặc dù khoản vay năng lượng cần thiết cho sự tồn tại của một hạt cơ bản là rất nhỏ (ta sẽ không cảm thấy gì nếu hạt đó va phải chúng ta), nhưng nó đã là quá lớn đối với ngân hàng Tự nhiên, vì vậy mà thời hạn cho vay vô cùng ngắn. Đối với một hạt như electron, nguyên lý bất định quy định thời hạn cho vay nhỏ hơn một phần ngàn tỷ tỷ (10^{-21}) giây. Khi hoàn trả, ngân hàng Tự nhiên thu hồi khoản vay năng lượng, cân bằng tài khoản và hạt sẽ biến mất.

Các hạt được sinh ra từ sự mờ nhòe của năng lượng xuất hiện và biến mất với tốc độ điên cuồng, theo những chu kỳ sinh tử chỉ trong một phần vô cùng nhỏ của giây. Một sự xuất hiện ngắn ngủi và vụng trộm trong thế giới thực và lại quay trở lại thế giới của bóng tối. Nếu chỉ một mình, chúng không có khả năng thoát khỏi thế giới ảo để xuất hiện một cách lâu dài trong thế giới thực. Những hạt ảo này là những hạt ma đang trong quá trình tạo ra, và không thể thành hiện thực. Bởi vì để làm được điều đó chúng sẽ cần năng lượng và tự nhiên từ chối cho vay với thời hạn dài.

Cho đến giờ, chúng ta mới chỉ đề cập đến sự tồn tại của các hạt vật chất ảo, chẳng hạn như electron. Nhưng vật chất không phải là thứ duy nhất có quyền chơi trò ma quái. Thực tế, sự tồn tại ảo của vật chất chỉ có thể có được nhờ sự hiện diện cũng không kém phần ảo của phản vật chất. Thật vậy, nếu ngân hàng Tự nhiên sẵn sàng cho vay năng lượng miễn phí, nó lại không làm như thế với khoản vay điện tích. Luật bảo toàn điện tích

phải được tuân thủ nghiêm ngặt, cả trong thế giới nguyên tử và hạ nguyên tử cũng như trong thế giới vĩ mô. Điện tích của không gian là 0 trước khi xuất hiện một hạt ảo, chẳng hạn như một electron, và nó cũng phải bằng 0 sau đó. Nói cách khác, việc tạo ra một electron ảo mang điện tích âm nhất thiết phải đi kèm với một phản electron (hay còn được gọi là positron) ảo có cùng khối lượng nhưng với điện tích trái dấu. Vũ điệu điên cuồng của các hạt ảo không thể tồn tại mà không có điệu nhảy ma quái của các phản hạt ma của chúng.

Như vậy, không gian xung quanh chúng ta – cũng như của căn phòng nơi bạn đang đọc cuốn sách này – không phải là chân không, mà có vô số các hạt và phản hạt ma xuất hiện rồi biến mất theo các vòng sinh tử vô cùng ngắn ngủi. Tại một thời điểm nhất định, thể tích một centimet khối có thể chứa tới một ngàn tỷ tỷ tỷ (10^{30}) các electron và phản electron ảo. Không gian xung quanh chúng ta không bao giờ hoàn toàn trơ hoặc mịn, mà liên tục chuyển động và thăng giáng. Chẳng qua là chúng ta không nhận thức được điều đó mà thôi, bởi vì hoạt động sôi sục này diễn ra ở những thang vô cùng bé, mà các giác quan của chúng ta không thể tiếp cận trực tiếp được.

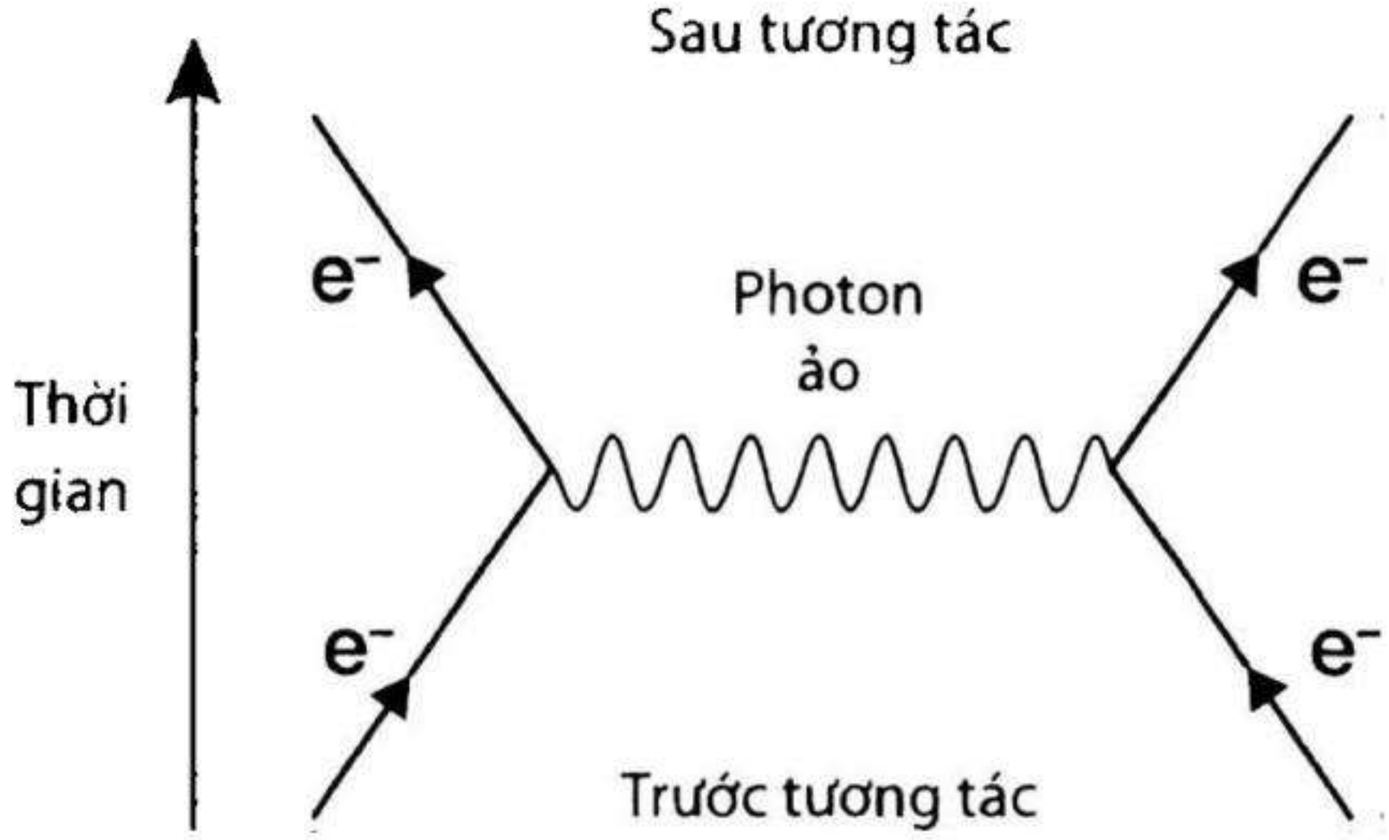
Hạt ảo, sứ giả của lực

Có lẽ bạn sẽ nghĩ rằng các nhà vật lý có đầu óc rất điên rồ mới có thể tưởng tượng ra đủ thứ lý thuyết rắc rối như thế để giải thích tự nhiên: cần gì phải vẽ ra các hạt ma quái mà sự tồn tại của chúng quá phù du tới mức không thể trực tiếp

phát hiện được? Phải chăng vật lý đã trở nên hoàn toàn hoang tưởng? Liệu có phải nó đã từ bỏ sự kiểm chứng bằng thực nghiệm, cơ sở của phương pháp khoa học? May mắn là không phải như thế, bởi vì mặc dù không thể quan sát trực tiếp được các hạt ảo bằng dụng cụ, nhưng chúng có những tác động gián tiếp mà ta có thể quan sát được. Các đặc tính của thế giới sẽ khác đi nếu những hạt đó không tồn tại.

Bất chấp sự tồn tại ma quái của mình, các hạt ảo vẫn có thể tương tác với các hạt trong thế giới thực. Chúng cũng chịu tác dụng của cùng các lực và cũng có điện tích giống như các hạt thực tương đồng với chúng, chỉ có năng lượng là khác nhau mà thôi. Chẳng hạn, một hạt thực chuyển động rất nhanh được đặc trưng bởi năng lượng cao trong khi một hạt ảo có thể đạt tốc độ rất cao mà không cần có năng lượng rất lớn. Trong sự tồn tại ngắn ngủi của mình, một hạt ảo có thể chuyển động qua lại giữa hai hạt bền của thế giới thực. Như vậy, hạt ảo đóng vai trò của một sứ giả truyền các lực từ hạt thực này sang hạt thực khác, cho phép chúng tương tác với nhau. Chẳng hạn, chính nhờ sự trao đổi các photon ảo, hạt truyền lực điện từ, mà hai electron cảm nhận được lực điện từ đẩy chúng ra xa nhau (hình trang sau).

Một ví dụ khác cho thấy các hạt ảo đóng vai trò quan trọng như thế nào trong việc hình thành hiện thực. Chúng ta (và toàn bộ vật chất xung quanh chúng ta) được cấu tạo từ các proton, neutron và electron. Các nhà vật lý còn cho rằng các proton và neutron này được tạo thành từ những thực thể cơ bản hơn, gọi là "quark". Lý thuyết "chuẩn" (nghĩa là được cộng



Photon là hạt truyền lực điện từ. Trong giản đồ này, trục thời gian là trục dọc và đi từ dưới lên trên. Hai electron (e^-) tiến lại gần nhau, trao đổi một photon ảo (đường lượn sóng) làm cho chúng đẩy nhau và mỗi hạt đi về một phía.

đồng khoa học chấp nhận) cho biết các hạt ảo có mặt nhung nhúc trong các proton (hoặc neutron), và chính chúng, hoạt động như những sứ giả truyền tải lực hạt nhân được gọi là "mạnh" từ một quark này sang một quark khác, và liên kết chúng với nhau. Các tính toán cho thấy các quark đóng góp rất ít vào khối lượng của proton hoặc neutron. Khối lượng của chúng chủ yếu là do trường năng lượng tạo ra bởi nhiều hạt ảo bên trong proton (hãy nhớ lại, khối lượng và năng lượng là tương đương theo Einstein). Vì vậy, lần sau khi bạn tự vấn, hãy tự nói với mình rằng chính là nhờ có nhiều hạt ảo mà cơ thể bạn có khối lượng!

Chúng ta đã thấy rằng các hạt ảo đóng vai trò sứ giả truyền các lực điện từ và lực hạt nhân mạnh. Điều này cũng đúng với lực cơ bản thứ ba, đó là lực hạt nhân yếu. Còn về lực thứ tư là lực hấp dẫn, thì chúng ta vẫn chưa biết nó thế nào, bởi vì, bất

chập những nỗ lực miệt mài, các nhà vật lý vẫn chưa thể xây dựng được một lý thuyết lượng tử của hấp dẫn. Sự thống nhất của lực hấp dẫn với ba lực còn lại vẫn còn là việc phải làm, và chúng ta sẽ quay trở lại vấn đề này sau.

Các hạt ảo làm thay đổi thế giới thực

Các hiệu ứng khác do sự hiện diện của hạt ảo gây ra cũng đã được quan sát. Sự tồn tại của chúng ảnh hưởng một cách khá tinh tế đến mức năng lượng của nguyên tử hydrogen, nguyên tử chỉ bao gồm một electron và một proton. Hydrogen là nguyên tố hóa học nhẹ nhất và phong phú nhất trong vũ trụ, chiếm 3/4 khối lượng các sao và thiên hà. Các tính toán cho thấy sự hiện diện của các hạt ảo tương tác với electron trong nguyên tử hydrogen tạo ra một sự thay đổi nhỏ ở một số mức năng lượng của nó, chỉ cỡ bằng một phần mười triệu năng lượng ban đầu. Mặc dù khác biệt rất nhỏ, nhưng sự thay đổi năng lượng gây ra bởi các hạt ảo này được nhà vật lý người Mỹ Willis Lamb (1913-2008) đo được cực kỳ chính xác vào năm 1947, đúng như tỷ lệ đã được cơ học lượng tử tiên đoán!

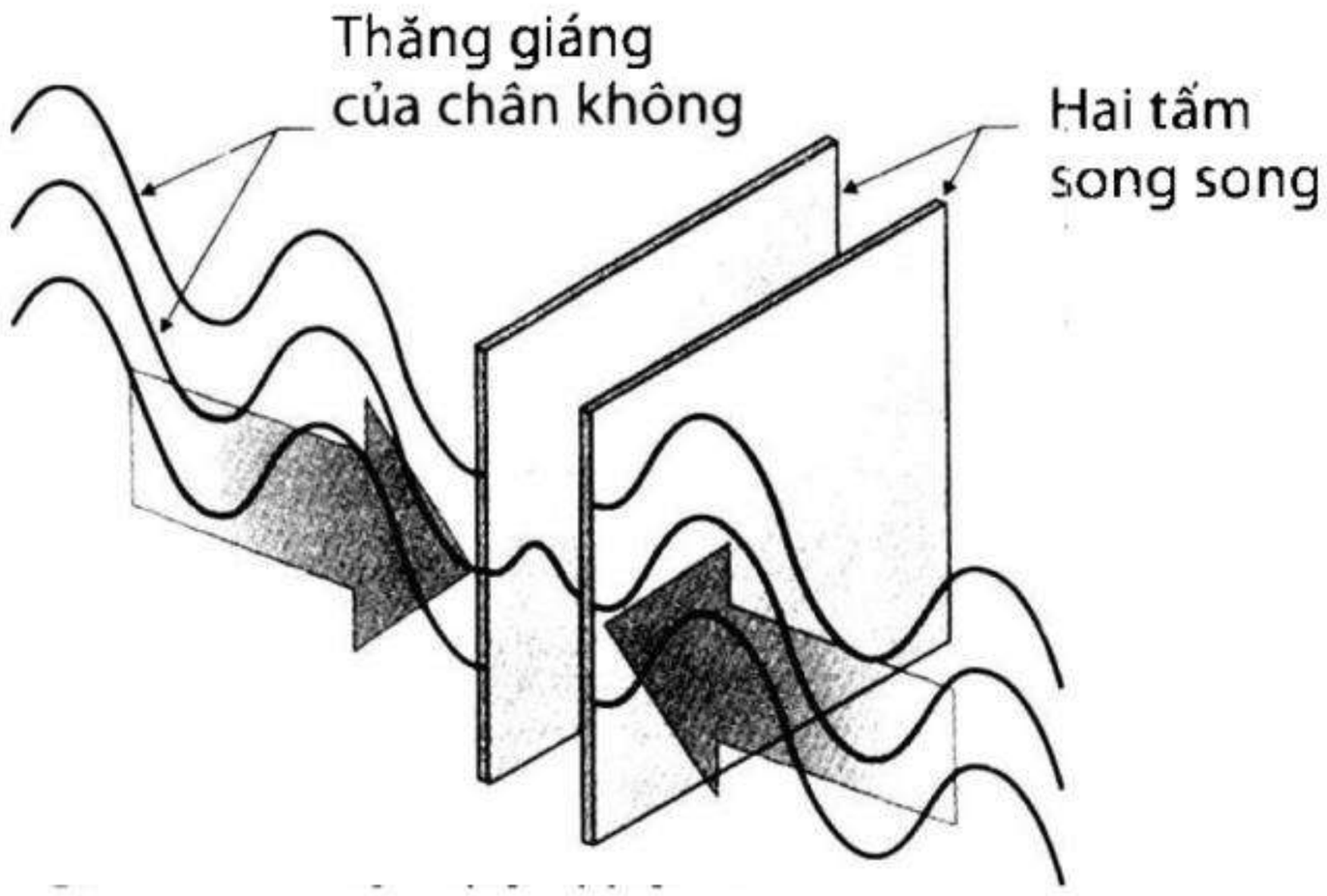
Một hiệu ứng khác có tên là hiệu ứng "Casimir", được đặt theo tên nhà vật lý người Hà Lan Hendrik Casimir (1909-2000). Ông đã băn khoăn tự hỏi tại sao một số kết quả thực nghiệm cho thấy cường độ của các lực đo được giữa một số nguyên tử lại không hoàn toàn phù hợp với kết quả mà lý thuyết tiên đoán. Liệu sự dị thường này có thể do sự hiện diện của các hạt ảo trong chân không gây ra không? Liệu nó có thể

gây ra một lực làm thay đổi rất nhỏ lực giữa các nguyên tử không? Vào năm 1948, Casimir đề xuất thí nghiệm sau đây để chứng minh sự tồn tại của các hạt ảo. Ông gợi ý hãy xem xét hai tấm kim loại, dẫn điện, đặt song song với nhau trong một không gian "trống rỗng"[1]. Giả sử không gian này chứa một đại dương các hạt ảo, xuất hiện và biến mất trong vòng sinh tử vô cùng ngắn. Do tính chất kép của vật chất, mỗi hạt ảo cũng có thể được biểu diễn như một sóng, với bước sóng nhất định đặc trưng cho khoảng cách giữa hai đỉnh hoặc hai hõm liên tiếp. Trước khi đưa hai tấm kim loại vào không gian "trống rỗng", tất cả các sóng, bất kể bước sóng bao nhiêu, đều hiện diện. Nhưng một khi hai tấm được đặt vào vị trí, thì chỉ có một số sóng nhất định có thể tồn tại trong khoảng trống giữa hai tấm: đó là những sóng có một số nguyên lần nửa bước sóng trong không gian này, hay nói cách khác chúng bắt đầu với một biên độ bằng không tại một tấm và kết thúc cũng với biên độ bằng không ở tấm kia. Sự lựa chọn các sóng đặc biệt này làm cho số các hạt ảo trong không gian giữa hai tấm ít đi đáng kể so với không gian bên ngoài. Sự thiếu hụt các hạt ảo làm nảy sinh một lực tác dụng lên mỗi tấm và kéo chúng về phía nhau một chút (hình bên). Lực này không liên quan gì đến lực hút hấp dẫn bé hơn rất nhiều giữa hai tấm. Lực dự kiến này rất nhỏ – lực tác dụng lên các tấm có kích thước một quân bài, cách

---

[1] Do các hạt ảo là một hiện tượng lượng tử, nên để chúng bộc lộ, khoảng cách giữa hai tấm song song phải cực kỳ nhỏ, nhỏ hơn cỡ khoảng mười ngàn lần kích thước của một nguyên tử.

nhau một phần mười phần ngàn cm, tương đương với trọng lượng của một giọt nước[1] – nhỏ đến nỗi nó chỉ được đo chính xác 50 năm sau các tính toán của Casimir. Các kết quả của phép đo rất rõ ràng: chúng phù hợp với các tiên đoán của cơ học lượng tử. Như vậy, hiệu ứng Casimir thực sự tồn tại và các hạt ảo không chỉ là một trò chơi của trí não.



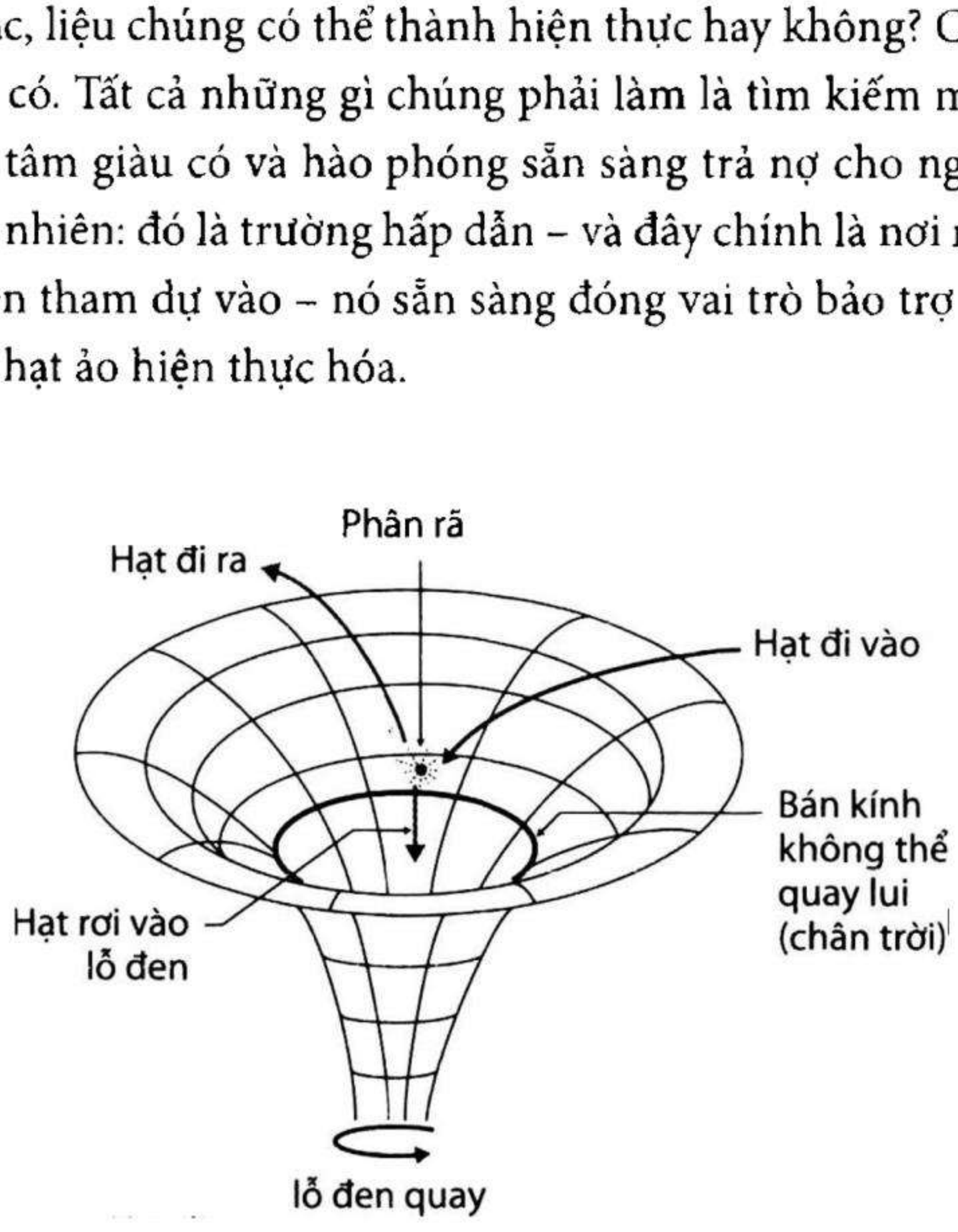
Hiệu ứng Casimir. Trong không gian giữa hai tấm kim loại song song, chỉ có các hạt ảo mà sóng của nó có một số nguyên lần nửa bước sóng trong không gian là có thể tồn tại. Ngược lại, các hạt ảo với tất cả các bước sóng có thể được phép tồn tại trong không gian bên ngoài hai tấm. Do đó có một sự dư thừa các hạt ảo ở bên ngoài so với bên trong, dẫn đến các lực ép đẩy các tấm hướng về phía nhau.

---

1 Brian Greene, *The Fabric of the Cosmos: Space, Time, and the Texture of Reality* (Cấu trúc của vũ trụ: Không gian, Thời gian và cấu tạo của Thực tại).

Các hạt ảo làm cho các lỗ đen không hẳn là đen

Như vậy, sự tồn tại của các hạt ảo đã được thiết lập, và chúng ta có thể tự hỏi liệu các hạt và phản hạt ảo có khả năng rời khỏi thế giới ma để hòa nhập thế giới thực hay không. Nói cách khác, liệu chúng có thể thành hiện thực hay không? Câu trả lời là có. Tất cả những gì chúng phải làm là tìm kiếm một nhà hảo tâm giàu có và hào phóng sẵn sàng trả nợ cho ngân hàng Tự nhiên: đó là trường hấp dẫn – và đây chính là nơi mà các lỗ đen tham dự vào – nó sẵn sàng đóng vai trò bảo trợ để giúp các hạt ảo hiện thực hóa.



Sự bay hơi của lỗ đen. Các hạt ảo quanh bán kính không quay lui của một lỗ đen có thể được hình thành bằng cách vay mượn năng lượng từ trường hấp dẫn cường độ cao của lỗ đen. Các cặp hạt và phản hạt có thể xuất hiện trong thế giới thực và tự hủy diệt để trở thành ánh sáng. Do đó, lỗ đen phát xạ và giảm khối lượng: nó "bay hơi" thành ánh sáng!

Trường hấp dẫn của một lỗ đen có cường độ rất lớn, đến mức không gian của nó bị uốn cong và gập lại, ngăn không cho ánh sáng thoát ra một khi đã vượt qua bán kính không thể quay lui của nó. Trường hấp dẫn của lỗ đen rất giàu năng lượng, nó lấy từ quỹ dự trữ này để trả nợ cho ngân hàng Tự nhiên các khoản vay của các hạt ảo và phản hạt của chúng, nằm ngay bên ngoài bán kính không quay lui. Sau khi trả nợ, các cặp hạt-phản hạt có thể thoát khỏi thế giới của bóng tối để xuất hiện trong thế giới thực.

Ví dụ, hãy xét trường hợp của một cặp electron-phản electron (hoặc positron) được tạo ra bằng cách trên; sẽ có một số kịch bản có thể xảy ra. Hai hạt này ngay lập tức rơi vào lỗ đen, trong trường hợp đó sự tồn tại của chúng sẽ rất ngắn ngủi. Hoặc là electron thoát khỏi móng vuốt của lỗ đen, trong khi phản hạt của nó, kém may mắn hơn, rơi vào cái miệng há hốc của lỗ đen; electron sẽ gặp một positron khác, cũng xuất hiện nhờ vào trường hấp dẫn của lỗ đen và thoát khỏi sự phàm ăn của nó, và cả hai đều bị hủy thành một chớp ánh sáng. Trong trường hợp thứ ba, cặp electron-positron đều thoát được, và kết thúc cuộc đời của chúng trong sự chiến thắng của ánh sáng. Như vậy, trong hai trường hợp cuối, một nghịch lý của các nghịch lý, đó là lỗ đen phát ra ánh sáng. Bởi vì trong sự hủy nhau của các cặp hạt-phản hạt, ánh sáng thoát ra ở vùng nằm ngay bên ngoài bán kính không thể quay lui của lỗ đen. Nghĩa là nó phát xạ và không còn hoàn toàn đen nữa.

Năng lượng hấp dẫn cung cấp một cách hào phóng cho các hạt ảo vượt qua bán kính không quay lui, giúp chúng hòa

nhập vào thế giới thực, xét cho cùng, là lấy từ năng lượng gắn liền với khối lượng của lỗ đen. Nói cách khác, khối lượng này giảm đi theo mức độ trường hấp dẫn phân phát năng lượng của nó cho các hạt ảo, để những hạt này trở thành thực, một số nữa bị hủy để trở thành ánh sáng và lỗ đen phát xạ. Nghĩa là khối lượng của lỗ đen "bay hơi", nói theo thuật ngữ của nhà vật lý người Anh Stephen Hawking (1942-2018), người đã phát hiện ra quá trình này (hình dưới). Vì vậy, nếu một ngày bạn bị mắc kẹt trong một lỗ đen, bạn hãy tự nhủ mình rằng vẫn còn một niềm an ủi – mặc dù rất mong manh – đó là mình có thể xuất hiện trở lại dưới dạng bức xạ!

Nếu cứ để tự chúng, các lỗ đen sẽ chuyển đổi thành ánh sáng và bay hơi. Nhưng liệu chúng ta có thể thấy chúng bay hơi không? Nói chung, câu trả lời là không: những lỗ đen mà các nhà thiên văn đã khám phá ra trong dải Ngân Hà hoặc ở tâm của các thiên hà khác có khối lượng lớn tới mức mà chúng gần như vĩnh cửu. Tỷ lệ bốc hơi của một lỗ đen phụ thuộc vào khối lượng của nó, lỗ đen càng nặng, nó bay hơi càng chậm, và càng sống lâu hơn[1]. Các lỗ đen gọi là "sao" là kết quả cái chết của một ngôi sao có khối

---

[1] Tuổi thọ của một lỗ đen tỷ lệ thuận với lập phương khối lượng của nó. Do đó một lỗ đen nặng gấp mười lần sẽ thọ hơn một ngàn lần.

lượng lớn gấp nhiều lần Mặt Trời (nặng $2 \cdot 10^{30}$ kg). Khối lượng này lớn và tỷ lệ bốc hơi thấp đến nỗi các lỗ đen sao dường như là vĩnh hằng đối với chúng ta. Do đó, một lỗ đen nặng gấp mười lần khối lượng Mặt Trời sẽ mất 10^{68} năm (tức là gấp hàng ngàn tỷ tỷ tỷ tỷ tỷ tỷ lần tuổi của vũ trụ) để bay hơi hết. Lưu ý rằng ở tâm một số thiên hà có một lỗ đen siêu lớn với khối lượng lớn gấp vài tỷ khối lượng Mặt Trời. Bởi vì chúng có khối lượng lớn gấp hàng tỷ lần so với các lỗ đen sao nên chúng sẽ tồn tại lâu hơn hàng tỷ tỷ tỷ lần.

Liệu chúng ta có nên từ bỏ mọi hy vọng rằng một ngày nào đó sẽ nhìn thấy những lỗ đen bay hơi? Liệu ta có thể tưởng tượng những lỗ đen nhẹ hơn rất nhiều các lỗ đen sao lớn, và do đó sự bay hơi của chúng sẽ lớn hơn nhiều và tuổi thọ thấp hơn? Năm 1974, Hawking đưa ra giả thuyết về một số lỗ đen mini nguyên thủy có thể đã tồn tại trong những khoảnh khắc đầu tiên của một giây sau Big Bang, đáp ứng được các điều kiện này. Ngay từ thuở ban đầu, ông gợi ý, vũ trụ quá nhỏ và đặc đồng thời trường hấp dẫn lớn đến mức các bất thường nhỏ về mật độ có thể bị co lại mạnh do tác dụng của lực hấp dẫn để sinh ra một quần thể nhiều lỗ đen mini có khối lượng một tỷ tấn (10^{12} kg), gấn bằng khối lượng của núi Everest. Tuổi thọ của các lỗ đen mini nguyên thủy này tương đối ngắn. Các tính toán cho thấy rằng vào cuối mười bốn tỷ năm, tức là bằng tuổi của vũ trụ, khối lượng của lỗ đen mini nguyên thủy sẽ co lại như tấm da lừa, từ khối lượng của một ngọn núi trở thành một hạt bụi khoảng hai mươi microgram. Tính toán cũng cho chúng ta biết rằng lỗ đen mini sẽ kết thúc sự tồn tại của nó

trong một vụ nổ lớn, giải phóng năng lượng bằng mười triệu quả bom một megaton dưới dạng tia gamma. Nếu quả thể này thực sự tồn tại, thì ngày nay chúng ta sẽ phải quan sát được một số vụ nổ dữ dội trong dải Ngân Hà hoặc trong các thiên hà gần. Nhưng những tràng pháo hoa này, tới thời điểm hiện nay, chưa bao giờ được phát hiện. Các lỗ đen mini nguyên thủy vẫn còn vắng bóng một cách tuyệt vọng, và có lẽ phải chờ đến một cảnh giới mới, chứ hiện tại chúng chỉ là sản phẩm của trí tưởng tượng phong phú của các nhà vật lý. Nhưng ngay cả khi chúng không tồn tại, có một điều chắc chắn: đó là cơ học lượng tử nói với chúng ta rằng một chân không chứa đầy các hạt ảo cho phép lỗ đen không hẳn là đen nữa.

Năng lượng của điểm zero

Cơ học lượng tử và nguyên lý bất định làm thay đổi một cách căn bản quan điểm của chúng ta về chân không. Trong vật lý cổ điển, chúng ta có thể định nghĩa chân không là một phần của không gian không chứa bất kỳ hạt cơ bản nào và nơi mà giá trị của các trường lực (điện từ, hấp dẫn, v.v) bằng 0 tại mỗi điểm. Đối với Maxwell, như chúng ta đã thấy, chân không là "những gì còn lại sau khi đã loại bỏ mọi thứ có thể loại bỏ được." Sự ra đời của cơ học lượng tử đã làm khó định nghĩa này. Thật vậy, nếu chúng ta xem xét nguyên lý bất định đối với những cái có liên quan đến mối quan hệ động lượng-vị trí, thì việc biết chính xác không có hạt nào tại một vị trí xác định (tức sự bất định về vị trí của nó bằng 0) hàm ý rằng

chúng ta không biết gì về động lượng, và do đó cả về năng lượng của nó ở điểm đó (sự bất định về tốc độ của nó là vô hạn). Nguyên lý bất định cho chúng ta biết rằng có thể loại bỏ tất cả các khối lượng và vật chất tại một điểm nhất định, nhưng vẫn sẽ luôn có một lượng năng lượng tối thiểu ở điểm này – và dù có làm gì đi nữa, chúng ta cũng không bao giờ có thể giảm nó về 0. Kết quả cũng như thế khi chúng ta xem xét nguyên lý bất định theo một khía cạnh khác, liên quan tới mối quan hệ năng lượng-thời gian: Khẳng định rằng một trường có giá trị zero ở một điểm cụ thể và nó vẫn bằng zero ở thời gian tiếp sau cũng tựa như ta biết với độ chính xác hoàn hảo cả năng lượng của trường (bằng zero) và tốc độ biến thiên theo thời gian của nó (cũng bằng zero). Nhưng nguyên lý bất định cho chúng ta biết rằng việc hiểu biết hoàn hảo đồng thời cả hai đại lượng này là không thể. Nếu chúng ta biết chính xác giá trị của trường (bằng zero), thì hiểu biết về tốc độ biến thiên theo thời gian của nó sẽ trở nên hoàn toàn ngẫu nhiên: nó có thể nhận bất kỳ giá trị nào. Nói cách khác, giá trị của trường lực không bao giờ có thể chính xác bằng zero ở bất kỳ điểm nào trong không gian, mà phải liên tục thăng giáng xung quanh giá trị này. Những thăng giáng lượng tử đó được thể hiện dưới dạng, như chúng ta đã biết, một đại dương các hạt ảo, xuất hiện và biến mất theo vòng sinh tử hết sức ngắn ngủi của chúng.

Cơ học lượng tử nói với chúng ta rằng bất kể chúng ta làm gì, bao giờ cũng tồn tại ở mỗi điểm trong không gian một năng lượng cơ bản không thể bị loại bỏ. Năng lượng này vẫn

còn lại dai dẳng sau khi tất cả các dạng của khối lượng và năng lượng khác đã bị lấy đi. Các nhà vật lý gọi nó, một cách rất thơ, là "năng lượng điểm không". (hay 'năng lượng điểm zero"). "Điểm zero" được gọi như thế không phải vì năng lượng của nó bằng 0, mà bởi vì nó được đặc trưng bởi năng lượng tối thiểu mà không gian có thể có. Chân không lượng tử không còn là không có gì nữa, mà trái lại là một khoảng trống chứa đầy những hạt ảo tạo thành một đại dương khổng lồ của năng lượng điểm zero, và cũng còn được gọi là "trường điểm zero" tương tự như trường điện từ do nhà vật lý người Anh Michael Faraday đưa ra vào thế kỷ 19. Cần hiểu rằng trường điểm zero này không chỉ trạng thái năng lượng tương đương với 0, mà là một trạng thái năng lượng tối thiểu. Trong trường hợp này, một cách nghịch lý, ta có thể nói rằng, sau hết thảy, cơ học lượng tử đã trả lại công bằng cho Aristotle: tự nhiên đúng là sợ hãi chân không. Chỉ có điều khác là nó không tràn ngập ether như triết gia Hy Lạp từng nghĩ, mà chứa đầy các thăng giáng lượng tử.

Vậy liệu chúng ta có thể trích xuất năng lượng từ cái đại dương vô hạn của năng lượng điểm zero ấy ra dùng không? Và nếu được, thì chúng ta hẳn sẽ có nguồn năng lượng không giới hạn, không chỉ miễn phí mà còn rất thân thiện với môi trường. Nhưng điều này dường như là không thể. Quả thực, việc trích xuất năng lượng ra khỏi đại dương này có nghĩa là năng lượng của trường điểm zero có thể sẽ rơi xuống dưới giá trị tối thiểu của nó, đây là điều bất khả.

Thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử giống như nước với lửa

Tới lúc này, chúng ta đã nói về các hạt ảo nảy nở trong một không gian đã tồn tại trước. Thế còn chính bản thân không gian thì sao? Điều gì sẽ xảy ra nếu xem xét kỹ nó ở thang đủ nhỏ? Cơ học lượng tử nói với chúng ta rằng ở các thang vô cùng bé, không gian tự tan thành một loại bọt lượng tử, nơi mà thời gian và không gian như chúng ta nghĩ trong thế giới vĩ mô sẽ không còn ý nghĩa nữa.

Như ta đã thấy, bằng thuyết tương đối rộng, Einstein đã chứng minh rằng trường hấp dẫn và hình học của không gian có liên quan chặt chẽ với nhau. Chính trường hấp dẫn quyết định hình học của không gian, và cũng chính nó quyết định không gian là phẳng, cong hay xoắn. Giống như bất kỳ trường lực nào, trường hấp dẫn cũng chịu sự chi phối của nguyên lý bất định. Nguyên lý này làm cho ở thang đủ nhỏ, trường hấp dẫn sẽ chịu những thăng giáng rất mạnh. Và đến lượt mình, các thăng giáng này lại gây ra những biến thiên bất thường ngẫu nhiên về hình dạng của không gian, và là nguồn gốc của những thăng giáng làm thay đổi không ngừng hình học của nó. Ở thang cuộc sống hằng ngày, chúng ta không ý thức được những thăng giáng này bởi vì chúng quá nhỏ để các giác quan của chúng ta có thể cảm nhận trực tiếp. Không gian đối với chúng ta có vẻ bình lặng và yên tĩnh, dường như chẳng có bất kỳ hoạt động nào. Các tính chất của nó dường như hoàn toàn xác định và không cho phép một sự ngẫu nhiên bất thường nào. Chỉ khi xem xét ở thang hạ nguyên tử thì không

gian mới trở nên biến động, và chúng ta mới nhận thức được những thăng giáng hỗn loạn và không ngừng của nó. Theo nghĩa này, không gian giống như một bức điểm họa khổng lồ của Georges Seurat. Từ xa chúng ta có thể thưởng thức *Un dimanche après- midi à l'île de la Grande Jatte* (*Một buổi chiều chủ nhật tại đảo La Grande Jatte*) một cách tổng thể, nhưng rất khó phân biệt hàng ngàn chấm nhỏ với nhiều màu sắc và ánh sáng lung linh tạo nên bức tranh. Chỉ khi đến gần, chúng ta mới thấy các hình khối biến thành vô vàn điểm. Tương tự như vậy, khi ở những thang lớn, không gian là bình lặng và trơn mịn, nhưng ở những thang nhỏ nó biến thành một thứ bọt lượng tử không ngừng thăng giáng.

Ở thang càng nhỏ, tầm quan trọng của ngẫu nhiên càng tăng. Ở thang chiều dài Planck cỡ 10^{-33} cm[1], tức hàng chục triệu tỷ tỷ lần nhỏ hơn kích thước của một nguyên tử, không gian, vốn yên tĩnh ở thang lớn, sẽ biến thành sủi bọt lượng tử sôi sục. Từ yên tĩnh và có trật tự, nó trở nên hỗn loạn và mất trật tự, từ bỏ mọi hình thức xác định để chứa đầy những chuyển động sóng và những bất thường sinh ra và biến mất trong khoảng thời gian vô cùng ngắn ngủi (hình bên). Trong lòng bọt lượng tử này, ý niệm về hướng không gian sẽ không còn ý nghĩa nữa: sẽ không còn trên hay dưới, phải hay trái,

---

[1] Chiều dài này mang tên nhà vật lý người Đức Max Planck, người đầu tiên tính được nó từ các hằng số vật lý cơ bản: tốc độ ánh sáng, hằng số hấp dẫn xác định cường độ lực hấp dẫn, và hằng số Planck xác định cường độ của các hiệu ứng lượng tử.

phía trước hay phía sau. Ở thang thời gian ngắn hơn thời gian Planck 10^{-43} giây[1], hàng chục triệu tỷ tỷ tỷ tỷ lần ngắn hơn chớp sáng của đèn flash máy ảnh, thời gian cũng mất đi ý nghĩa của nó: chúng ta không còn có thể nói trước hay sau, hoặc thậm chí một khoảng thời gian xác định nào đó. Độ cong và topo của bọt lượng tử này trở nên quá hỗn độn đến mức chúng chỉ có thể được mô tả bằng các xác suất.

Bọt lượng tử. Ở thang chiều dài Planck (10^{-33} cm), không gian không còn trơn mịn mà trở nên thăng giáng dữ dội, không ngừng thay đổi và chuyển động, tạo thành cái mà nhà vật lý người Mỹ John Wheeler gọi là "bọt lượng tử".

Cơ học lượng tử – môn vật lý mô tả thế giới vô cùng nhỏ – cho chúng ta một cái nhìn hoàn toàn khác về không-thời gian so với thuyết tương đối rộng – vật lý của những cái vô cùng lớn. Lý thuyết của Einstein cho thấy một không-thời gian bình

---

[1] Là khoảng thời gian ánh sáng đi được một chiều dài Planck.

lặng, trơn mịn và được xác định rõ ràng ở những thang nhỏ nhất. Trái lại, cơ học lượng tử khẳng định với chúng ta rằng ở những thang này không-thời gian không còn yên tĩnh nữa mà có những thăng giáng mạnh mẽ vốn do sự chi phối của nguyên lý bất định Heisenberg. Tại những thang này, tất cả chỉ là thăng giáng, chuyển động và bất định. Ở những kích thước không gian nhỏ cỡ chiều dài Planck và khoảng thời gian ngắn cỡ thời gian Planck, hai lý thuyết này, đều sinh ra vào đầu thế kỷ 20 và vẫn là hai trụ cột của vật lý đương đại một thế kỷ sau đó, tương khắc nhau như nước với lửa vậy.

Để hiểu được nguồn gốc của chúng ta, cần có lý thuyết hấp dẫn lượng tử

Các tính toán dựa trên sự kết hợp các phương trình của thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử hầu như luôn cho kết quả vô hạn, tức là chẳng có ý nghĩa gì. Những kết quả vô lý này cho chúng ta biết rõ rằng có một sự không tương thích rất cơ bản giữa hai lý thuyết. Tuy nhiên, qua nhiều lần kiểm tra bằng nhiều phép đo và quan sát, hai lý thuyết này vẫn vận hành cực kỳ tốt miễn là chúng tách biệt nhau và hạn chế trong các phạm vi tương ứng của chúng. Cơ học lượng tử mô tả chính xác hành vi của các nguyên tử và ánh sáng khi ba trong bốn lực cơ bản, gồm hai lực hạt nhân mạnh, yếu và lực điện từ, đóng vai trò chủ đạo và lực thứ tư, lực hấp dẫn, là không đáng kể. Trong khi đó, thuyết tương đối rộng giải thích tốt các tính chất của vũ trụ, các thiên hà, các sao và hành tinh khi mà

lực hấp dẫn chiếm vai trò trung tâm trên sân khấu, còn ba lực kia lùi vào hậu cảnh. Nhưng vật lý học đã đứt hơi và mất hết phương tiện khi lực hấp dẫn, vốn thường không đáng kể ở thang nguyên tử và hạ nguyên tử, lại trở nên quan trọng như ba lực kia.

Tất nhiên, chúng ta có thể tự nhủ rằng nếu hai lý thuyết này vận hành hoàn hảo miễn là chúng hoạt động tách biệt trong các phạm vi tương ứng riêng của chúng, thì tại sao ta không cứ giữ chúng tách biệt như thế và dừng lại đó? Xét cho cùng thì đó chính xác là những gì các nhà vật lý đã làm trong gần một thế kỷ. Cách tiếp cận này cực kỳ có năng suất và hiệu quả. Những tiến bộ trong việc tìm hiểu vũ trụ qua thuyết tương đối rộng và hành vi của các nguyên tử và ánh sáng thông qua cơ học lượng tử là cực kỳ ngoạn mục. Vậy tại sao lại phải cố gắng kết hợp những cái dường như không thể dung hợp được?

Có nhiều lý do để các nhà vật lý làm việc miệt mài nhằm xây dựng một lý thuyết thống nhất được một cách nhất quán thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử. Lý do đầu tiên là ở tầm triết học và thẩm mỹ. Trực giác của tất cả chúng ta đều cảm thấy rằng tự nhiên không thể hoạt động theo kiểu thần kinh phân liệt được, nó không thể bị phân đôi về hành vi, mô tả bằng một lý thuyết ở một thang và bằng một lý thuyết khác, hoàn toàn không tương thích với cái đầu tiên, ở một thang khác. Trái lại, khoa học đã làm cho chúng ta quen với ý tưởng về sự thống nhất sâu xa của vũ trụ: Newton đã thống nhất trời và đất trong thế kỷ 17, Maxwell thống nhất điện và từ vào thế kỷ 19

và Einstein thống nhất thời gian và không gian trong thế kỷ 20. Sẽ thật đáng ngạc nhiên nếu như bốn lực cơ bản của tự nhiên không đi theo sơ đồ thống nhất này và không thể được mô tả bởi cùng một lý thuyết lớn duy nhất, lý thuyết hấp dẫn lượng tử, mà đôi khi được gọi một cách khoa trương là "Lý thuyết của vạn vật", một lý thuyết giải thích được các tính chất của vũ trụ ở mọi thang khả dĩ. Xét cho cùng thì không thể tồn tại một ranh giới kỳ diệu đánh dấu sự chuyển đổi từ thế giới vi mô sang thế giới vĩ mô, không có vạch lửa nào đó báo hiệu rằng, để mô tả hành vi của tự nhiên, đế chế cơ học lượng tử phải dừng lại ở đây và bắt đầu triều đại của thuyết tương đối rộng. Tự nhiên là đẹp và, như vậy, nó phải được mô tả bởi các lý thuyết đẹp. Mà các đặc tính của một lý thuyết đẹp không chỉ là tất yếu và phù hợp với Vạn vật, mà còn phải đơn giản nữa. Và chỉ có một lý thuyết thống nhất mới có thể thỏa mãn điều kiện này.

Nhưng ngoài các lý do về thẩm mỹ và triết học, liệu còn lý do khoa học nào khác thúc đẩy chúng ta thực hiện việc thống nhất này không? Ta có thể nói rằng hầu hết các vật thể trong vũ trụ hoặc rất lớn và rất nặng, do đó sẽ có hành vi được mô tả chính xác bởi thuyết tương đối rộng, hoặc rất nhỏ và rất nhẹ, và có hành vi được giải thích tốt bởi cơ học lượng tử. Sự không tương hợp giữa hai lý thuyết chỉ xuất hiện trong các điều kiện cực hạn của không-thời gian, nơi mà các khối lượng rất lớn được nén trong các vùng không gian vô cùng bé. Liệu trong tự nhiên có tồn tại tình huống mà các vật vừa rất nhỏ lại vừa rất nặng không? Và nếu nó không tồn tại, thì tại sao lại phải quan tâm đến nó?

Thực ra, có ít nhất hai tình huống mà những điều kiện cực hạn này xảy ra. Tình huống thứ nhất liên quan đến các lỗ đen. Khối lượng của một ngôi sao khoảng mười lần khối lượng Mặt Trời được nén thành một điểm nhỏ (gọi là "điểm kỳ dị") ở giữa lỗ đen. Trường hấp dẫn của nó có cường độ cao đến mức ánh sáng (hay bất kỳ vật nào khác) đều không thể thoát ra được. Để mô tả tình huống này, phải cầu cứu đến thuyết tương đối rộng vì khối lượng khổng lồ và lực hấp dẫn của lỗ đen, và cơ học lượng tử cũng được cầu cứu đến vì kích thước vô cùng bé của điểm kỳ dị. Nhưng do sự kết hợp của hai lý thuyết này luôn cho các kết quả vô hạn, nên chưa ai có thể mô tả được các tính chất của điểm kỳ dị ở tâm của một lỗ đen. Từ bên ngoài, tức ngoài bán kính không thể quay lui, chúng ta biết tới ba, và chỉ ba đại lượng: khối lượng, spin (tức là đại lượng đo chuyển động quay quanh mình nó của lỗ đen) và điện tích của nó. Bạn có thể nói rằng đây là một câu hỏi mang tính hàn lâm vì sẽ không bao giờ có khả năng kiểm chứng được những đặc tính này ngay cả khi chúng ta có thể tính được chúng: bởi lẽ đi vào tâm của một lỗ đen sẽ chắc chắn dẫn đến cái chết vì cơ thể nhà thám hiểm táo bạo ngay lập tức sẽ bị xé nát bởi lực hấp dẫn dữ dội, và thậm chí nếu bằng một phép lạ nào đó thoát khỏi cái chết, anh ta cũng không bao giờ có thể truyền đạt được các quan sát của mình từ tâm của lỗ đen đến thế giới bên ngoài.

Nếu vấn đề này có vẻ như chỉ mang tính hàn lâm – lại nữa, việc không thể giải quyết được nó cảnh báo chúng ta rằng không phải mọi thứ đều tốt đẹp với thế giới vật lý

đương đại và hai lý thuyết đóng vai trò trụ cột của nó, dưới hình thức hiện tại, chúng không thể là tiếng nói sau cuối – thì có một tình huống khác liên quan đến một khối lượng cực kỳ lớn và một kích thước vô cùng bé: đó là lúc vũ trụ ở những khoảnh khắc đầu tiên. Ngày nay, chúng ta nghĩ rằng cách đây khoảng 14 tỷ năm, một vụ nổ lớn, Big Bang, đã sinh ra vũ trụ từ một trạng thái cực kỳ bé, nóng và đặc. Kể từ đó, nó không ngừng lớn lên, loãng ra và nguội dần, cho phép vật chất xuất hiện và các vật thể có cấu trúc ngày càng phức tạp. Bắt đầu từ một chân không hạ nguyên tử, vũ trụ đã leo từng bậc thang kim tự tháp của sự phức tạp hóa để dần dần tạo ra các quark và electron, các proton và neutron, các nguyên tử, các sao và các thiên hà. Lực hấp dẫn đã ra tay kiến tạo nên vũ trụ bao la, bao gồm hàng trăm tỷ thiên hà, mỗi thiên hà gồm hàng trăm tỷ mặt trời. Và ở vùng ngoại ô của một trong những thiên hà có tên là Ngân Hà, trên một hành tinh quay quanh một ngôi sao gọi là Mặt Trời, đã xuất hiện con người, biết ngạc nhiên trước vẻ đẹp và sự hài hòa của vũ trụ, và có một trí tuệ cho phép tự vấn về vũ trụ đã sinh ra mình. Lịch sử của vũ trụ chính là lịch sử của chúng ta. Với những nỗ lực miệt mài, các nhà thiên văn học đã tái tạo được thiên sử thi hùng tráng của sự tiến hóa vũ trụ, một bức bích họa kỳ vĩ trải dài hơn mười tỷ năm, đầy những thăng trầm và những đột biến bất ngờ, luôn luôn gây cảm hứng và không ngừng mê hoặc. Nhưng sự khởi đầu của câu chuyện vũ trụ này vẫn còn nằm ngoài tầm hiểu biết của chúng ta. Tại thời điểm Planck 10^{-43} giây, toàn bộ khối lượng vũ trụ được

chứa trong một vùng có kích thước cỡ độ dài Planck 10^{-33}cm. Chúng ta lại rơi vào cùng một tình huống giống như trước, nhưng trong những điều kiện còn cực hạn hơn nhiều. Do khối lượng cực lớn của vũ trụ, nên phải cần tới thuyết tương đối rộng, trong khi kích thước nhỏ bé của nó lại cần tới cơ học lượng tử. Như vậy, cái vô cùng bé đã cho ra đời cái vô cùng lớn, và để hiểu nguồn gốc của mình, chúng ta phải hiểu được nguồn gốc của vũ trụ. Nhưng điều này chỉ có thể nếu chúng ta thành công trong việc xây dựng một lý thuyết lượng tử của hấp dẫn, cho phép thống nhất cơ học lượng tử và thuyết tương đối rộng.

Lý thuyết dây: lý thuyết của vạn vật?

Vào đầu những năm 1980, xuất hiện một lý thuyết dường như có thể thống nhất được lực hấp dẫn với ba lực cơ bản khác, tạo ra rất nhiều hy vọng. Đó là lý thuyết có tên là "lý thuyết dây". Sở dĩ được gọi như thế là bởi vì nó cho rằng các hạt của vũ trụ – electron, proton, neutron và neutrino ... – không còn là các thành phần cơ bản và là những hạt điểm của vũ trụ nữa, mà chúng là kết quả sự dao động của các thực thể sơ cấp khác được gọi là "dây" (hình trang sau). Những dây này có quảng tính không gian vô cùng nhỏ bé, cỡ 10^{-33}cm, tức chiều dài Planck. Thật bất ngờ, trong số nhiều kiểu dao động khả dĩ của chúng, kỳ diệu là có một kiểu mà những tính chất của nó tương ứng với hạt graviton, một hạt giả định (chưa được phát hiện) được cho là hạt truyền tải lực hấp dẫn: hạt

Theo lý thuyết dây, hạt cơ bản không phải là các hạt điểm mà là các đoạn dây vô cùng bé dao động. Hình minh họa trên cho ví dụ về các kiểu dao động. Mỗi kiểu tương ứng với một hạt.

này có khối lượng và điện tích bằng 0 như photon, nhưng có spin bằng 2 thay vì bằng 1 của photon.

Sự thống nhất lực hấp dẫn với ba lực còn lại có vẻ như có thể đạt được trong khuôn khổ của lý thuyết dây. Nhưng làm thế nào lý thuyết này có thể dung hòa được không gian trơn mịn của thuyết tương đối rộng với sự hỗn loạn của các thăng giáng lượng tử do nguyên lý bất định gây ra? Thực tế, sự điên cuồng lượng tử chỉ thể hiện ở các thang nhỏ hơn đáng kể so với chiều dài Planck. Trong một sơ đồ mà các hạt là điểm, sẽ nảy sinh vấn đề bởi vì nguyên lý bất định có thể tác động ở những khoảng cách nhỏ tùy ý và tạo ra các thăng giáng rất lớn của trường hấp dẫn. Trái lại, do kích thước của các dây không bao giờ giảm xuống dưới chiều dài của Planck, nên các thăng giáng lượng tử sẽ ở mức vừa phải và kết quả là không gian lúc đó sẽ không xung đột một cách gay gắt với không gian yên bình và tĩnh lặng của thuyết tương đối rộng. Thực tế, nếu các phương trình của Einstein được sửa đổi cho phù hợp với các dây, thì như có phép thần, các tính toán cho kết quả hữu hạn và có ý nghĩa.

Lý thuyết dây đã gây ra một cơn thủy

triều đích thực của sự hứng khởi trong thế giới vật lý. Lúc đó ai cũng nghĩ rằng đây chính là lý thuyết của Vạn vật đang được tìm kiếm. Nhưng rồi họ đã vỡ mộng. Sau hàng thập kỷ làm việc miệt mài của hàng ngàn nhà nghiên cứu trên khắp thế giới, lý thuyết dây vẫn được bao bọc trong một tấm màn toán học dày đặc. Hơn nữa, nó lại có khiếm khuyết lớn nhất của một lý thuyết khoa học: nó chưa bao giờ được kiểm chứng bằng thực nghiệm. Rõ ràng là chúng ta sẽ không bao giờ có thể soi xét kỹ các thang ở mức 10^{-33}cm để trực tiếp kiểm tra sự tồn tại của các dây. Máy gia tốc hạt mạnh nhất trên thế giới, LHC tại CERN[1] ở Geneva, có thể kiểm tra các đối tượng có kích thước 10^{-19}cm, tức là hàng trăm tỷ lần nhỏ hơn một nguyên tử, nhưng vẫn một trăm ngàn tỷ lần lớn hơn chiều dài Planck. Lý thuyết dây cũng giả định sự tồn tại của ít nhất sáu hoặc bảy chiều không gian bổ sung, ngoài ba chiều đã quen thuộc với chúng ta, được cuộn rất chặt (kích thước của chúng tương ứng với chiều dài Planck) tới mức không thể quan sát trực tiếp được.

Cho đến nay, lý thuyết dây đã không thể giúp chúng ta vượt qua bức tường của Planck. Bức tường này dựng đứng trước chúng ta, ngăn không cho chúng ta tiếp cận với tri thức về nguồn gốc của vũ trụ. Ở trạng thái hiểu biết hiện tại, ta không thể nói gì về thời điểm zero, tức thời điểm đánh dấu

---

[1] Large Hadron Collider (Máy va chạm lớn của các hạt hadron) được đưa vào hoạt động năm 2009 ở Trung tâm nghiên cứu hạt nhân châu Âu (CERN), tại Geneva, Thụy Sĩ.

sự ra đời của vũ trụ. Bản chất của "bang", vụ nổ kích hoạt mọi thứ, vẫn còn chưa được biết đến. Nhưng liệu có thể nói rằng chúng ta không thể biết gì về thời điểm ban đầu của vũ trụ? Chúng ta sẽ thấy rằng hoàn toàn không phải như vậy, bởi vì các nhà thiên văn học, giống như những nhà thám hiểm lần theo con sông đến tận nguồn của nó, đã táo bạo ngoại suy các định luật vật lý đã biết đến những thời rất xa xưa trong quá khứ, và khi làm điều đó, họ có thể lần ngược lại thời gian tới tận thời điểm Planck. Và họ đã có thể xây dựng kịch bản chi tiết của một vũ trụ "bắt đầu từ không có gì", nơi mà chân không đóng vai trò cơ bản.

V.

Vũ trụ sinh ra từ chân không

Một vụ nổ kinh hoàng trong sự tĩnh lặng tuyệt đối

Chúng ta đều nghĩ rằng vũ trụ kỳ lạ và tuyệt vời này đã được sinh ra, cách đây 13,8 tỷ năm, trong một vụ nổ chớp nhoáng, được gọi là "Big Bang". Ý tưởng này xuất phát từ một khám phá cơ bản vào năm 1929 về sự giãn nở của vũ trụ bởi nhà thiên văn học người Mỹ Edwin Hubble (1889-1953) (hình). Thực tế, tất cả các thiên hà xa xôi đang chạy ra xa chúng ta – sở dĩ biết được điều đó là do ánh sáng của chúng dịch về phía đỏ một cách có hệ thống, và điều này chứng tỏ các nguồn sáng đó (tức các thiên hà) đang chuyển động ra xa chúng ta[1]. Hubble phát hiện ra rằng

---

[1] Đây chính là "hiệu ứng Doppler", theo tên của nhà vật lý người Áo, người đã phát hiện ra hiệu ứng này của âm thanh. Giống như tiếng còi

tốc độ của sự chạy trốn này không phải là ngẫu nhiên, mà tỷ lệ thuận với khoảng cách từ thiên hà đó đến Ngân Hà của chúng ta. Như vậy, một thiên hà ở xa hơn mười lần sẽ chạy ra xa nhanh gấp mười lần. Sự tỷ lệ giữa khoảng cách của thiên hà và tốc độ di chuyển của nó có một hệ quả cơ bản: cụ thể là thời gian mà mỗi thiên hà di chuyển từ điểm xuất phát ban đầu tới vị trí hiện tại của nó là như nhau với tất cả các thiên hà, vì thời gian này đúng bằng tỷ số giữa khoảng cách của thiên hà và tốc độ của nó. Nếu bằng tưởng tượng, chúng ta đảo ngược dòng các sự kiện, thì tất cả các thiên hà sẽ ở cùng một vị trí tại cùng một thời điểm. Đây chính là suy luận đã khai sinh ra lý thuyết Big Bang và quan niệm tuyệt vời về một vũ trụ sinh ra từ trạng thái cực nhỏ, nóng và đặc, trong một vụ nổ phi thường của không gian và hậu quả của nó vẫn còn tồn tại dai dẳng tới ngày hôm nay thể hiện bởi sự chạy trốn ra xa của các thiên hà, đây chính là cái được gọi là "sự giãn nở của vũ trụ".

Thuật ngữ "vụ nổ" có thể gợi lên hình ảnh các thiên hà chạy trốn ra xa từ trung tâm của vụ nổ trong một không gian đã tồn tại từ trước. Điều này không khỏi khiến chúng ta tự hỏi: vậy nơi nào là trung tâm của vũ trụ. Thực tế, ý tưởng về trung tâm này là sai bởi vì không gian không phải luôn tồn tại, mà nó được tạo ra cùng lúc với Big Bang. Cụm từ

---

hú của xe cứu hỏa trở nên gắt hơn khi tiến lại gần và trầm hơn khi chạy ra xa, ánh sáng của một thiên hà bị dịch về phía xanh khi nó di chuyển về phía chúng ta và dịch về phía đỏ khi đi ra xa.

"vũ trụ đang giãn nở" không phải chỉ hàng trăm tỷ thiên hà đang phóng hết tốc lực trong không gian Newton, thụ động và tĩnh, vốn đã tồn tại mãi suốt thời gian, và đã hiện diện từ trước khi có Big Bang. Mà trái lại, nó (sự giãn nở) có liên quan tới một không gian Einstein động, miên viễn được tạo ra, và chuyển động giãn nở của nó kéo theo các thiên hà vốn đứng yên trong đó. Để dễ tưởng tượng hơn, ta hãy xem xét việc nướng bánh nho khô trong lò. Khi bột phồng lên, thể tích của bánh tăng lên và những quả nho khô trộn lẫn trong bột nhào sẽ dịch chuyển ra xa nhau. Cũng giống như thể tích bánh tăng lên trong quá trình nướng, theo thời gian, không gian mới liên tục được tạo ra trong vũ trụ giãn nở, làm tăng khoảng cách giữa các thiên hà. Các thiên hà này đứng yên trong không gian đang di chuyển giống như các quả nho khô được cố định trong cái bánh đang phồng lên. Mọi chuyển động là do thể tích của bánh, cũng như chuyển động ra xa nhau của các thiên hà là do không gian giãn nở. Như vậy, không phải các thiên hà chuyển động ra xa dải Ngân Hà, mà là dịch chuyển ra xa nhau, cũng như những quả nho khô dịch ra xa nhau khi bột nướng nở ra. Những cư dân của các thiên hà khác – nếu như họ tồn tại – cũng sẽ thấy các thiên hà xa xôi dịch chuyển ra xa họ và họ chắc cũng sẽ nghĩ rằng mình nằm ở trung tâm của thế giới. Bởi vì tất cả đều là trung tâm, nên không có gì là trung tâm cả, và hồn ma của Copernicus có thể tiếp tục thanh thản nghỉ ngơi.

Từ "vụ nổ" cũng gợi lên hình ảnh một vụ nổ lớn với tiếng động kinh hoàng. Điều này cũng rất không đúng. Trong cái

chân không lượng tử ban đầu, vì vật chất chưa xuất hiện, nên không có môi trường nào để truyền sóng âm. Vũ trụ được sinh ra trong sự im lặng tuyệt đối, trong một vụ nổ được bao bọc bởi sự im lặng chết chóc. Bộ phim về vũ trụ nguyên thủy hoàn toàn không có âm thanh.

Bộ tứ lực cơ bản và vẻ đẹp của thế giới

Vẻ đẹp và sự phức tạp của thế giới – những đường nét tinh xảo của cánh hoa hồng, cánh tay xoắn ốc của một thiên hà, những đỉnh núi tuyết trắng của dãy Himalaya, cái đăng ten bằng thép của tháp Eiffel – được hình thành và tạo ra bởi bộ tứ các lực cơ bản trong tự nhiên. Chúng là những nhân tố làm cho thế giới tiến triển, mọi thứ trong vũ trụ là vô thường, luôn biến động và thay đổi. Cường độ của bốn lực này rất khác nhau, và các phạm vi tác động của chúng cũng rất khác nhau. Mỗi một lực đều gắn với một hạt cơ bản có chức năng truyền tải lực đó qua không gian vũ trụ.

Theo thứ tự cường độ giảm dần, trước tiên là lực hạt nhân mạnh. Mặc dù nó là lực mạnh nhất trong bốn lực, nhưng nó rất khó được nhận biết bởi phạm vi tác dụng của nó chỉ giới hạn trong hạt nhân của nguyên tử, ở khoảng cách cỡ một phần mười ngàn tỷ (10^{-13}) cm. Tuy nhiên, nhiệm vụ của nó rất cơ bản: nó chính là nhân tố gắn kết các proton và neutron – các "viên gạch" của hạt nhân nguyên tử – với nhau. Nó hoạt động như một loại keo, mạnh và tốt tới mức các hạt giả định gắn với nó được gọi là "gluon" (từ tiếng Anh *glue*, có nghĩa là

"keo"). Chính sự trao đổi các gluon giữa proton và neutron đã làm các hạt này "kết dính" lại với nhau trong hạt nhân nguyên tử và làm cho các hạt nhân này không bị phân hủy. Không có lực mạnh, thì vật chất cũng như cả thế giới như chúng ta biết không thể tồn tại.

Tiếp theo là lực điện từ, lực này rất quen thuộc với chúng ta. Một trăm ba mươi bảy lần yếu hơn so với lực hạt nhân mạnh, nó có một đặc tính rất riêng: chỉ tác dụng lên các hạt có điện tích, dù đó là điện tích âm của một electron, hay điện tích dương của một proton. Bất kỳ hạt trung hòa nào, như neutron, nó đều không đếm xỉa đến. Lực điện từ áp đặt các quy tắc rất nghiêm ngặt về sự tương tác giữa các hạt tích điện: các điện tích trái dấu hút nhau trong khi các điện tích cùng dấu lại đẩy nhau. Do đó, các proton trong một hạt nhân nguyên tử, đều có điện tích dương, nên đẩy lẫn nhau. Nhưng hạt nhân không bị vỡ vì lực hạt nhân mạnh mạnh hơn lực điện từ rất nhiều lần và nó là kẻ áp đặt luật chơi. Mặc dù cường độ của lực điện từ giảm tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa hai điện tích, nhưng tầm tác dụng của nó, thông qua hạt truyền tương tác gắn với lực điện từ là hạt photon, là vô hạn. Điều này có nghĩa là tác dụng của nó không giới hạn trong thế giới của các nguyên tử, mà có thể mở rộng đến các cấu trúc lớn và phức tạp hơn đáng kể. Các phân tử, chuỗi xoắn kép của DNA và các vật khác, tất cả đều chịu tác động của nó. Chính lực điện từ đã gây ra các phản ứng hóa học và sinh học cơ sở của sự sống. Nó tạo hình dạng cho các vật thể, từ những đường nét hoàn hảo của cơ thể con người đến những đường

viền vững chãi trên bức tượng của Rodin. Nếu không có nó, mọi thứ sẽ mất đi sự rắn chắc, và bạn có thể đi xuyên qua các bức tường một cách tự do hoặc đưa bàn tay xuyên qua các trang của cuốn sách này.

Lực hạt nhân gọi là "yếu" là lực thứ ba. Như tên của nó cho thấy, cường độ của nó yếu hơn nhiều, khoảng một trăm ngàn lần yếu hơn lực điện từ. Giống như lực hạt nhân mạnh, nó khá xa lạ với chúng ta vì chỉ thể hiện ở những thang vô cùng nhỏ. Phạm vi tác động của nó cũng hạn chế hơn so với lực hạt nhân mạnh, cụ thể là nhỏ hơn khoảng một ngàn lần so với kích thước của một hạt nhân nguyên tử, hay một phần mười triệu tỷ (10^{-16}) của một centimet. Lực hạt nhân yếu khác với ba lực còn lại ở chỗ nó không tác dụng như một chất keo, mà là một chất chống keo. Thực tế, nó thường gây ra sự phân rã của vật chất. Các hạt trong hạt nhân nguyên tử của một số nguyên tố hóa học, chẳng hạn uranium hoặc plutonium, bị phân rã bởi tác động của nó sau một khoảng thời gian[1], giải phóng các hạt và bức xạ năng lượng cao và do đó có hại cho sức khỏe. Ta gọi sự phân rã này là "phóng xạ". Lực hạt nhân yếu rất quan trọng đối với sự tồn tại của chúng ta bởi vì nó phần nào chịu trách nhiệm cho các phản ứng hạt nhân xảy ra trong lõi của các ngôi sao, đặc biệt là ngôi sao của chúng ta. Nếu không có nó, Mặt Trời, thay vì sản sinh năng lượng trong mười tỷ năm,

---

[1] Chu kỳ bán rã (thời gian cần thiết cho một nửa số nguyên tử của một nguyên tố hóa học phân rã tự nhiên) của uranium-235 là 18,8 triệu năm, Plutonium-244 là 80 triệu năm.

chỉ có thể sống được vài triệu năm, giống một chớp mắt trong lịch sử vũ trụ. Thời gian ngắn như vậy sẽ không cho phép sự sống trên Trái Đất thức tỉnh, cũng như duy trì nó. Nói cách khác, không có lực hạt nhân yếu, chúng ta sẽ không tồn tại. Các hạt truyền tương tác gắn với lực hạt nhân yếu được đặt tên là W và Z. Sự tồn tại của chúng đã được khẳng định trong các thí nghiệm tại CERN ở Geneva vào đầu những năm 1980.

Đứng cuối của đội hình là lực hấp dẫn. Nó yếu hơn lực điện từ khoảng một ngàn tỷ tỷ tỷ tỷ (10^{39}) lần. Chính sự chênh lệch rất lớn này làm cho lực từ của một nam châm có thể rất dễ dàng hút một cái đinh ốc nằm trên mặt đất bất chấp lực hấp dẫn hút cái đinh ốc đó bằng toàn bộ khối lượng Trái Đất. Chúng ta cũng có thể nhận ra độ cực yếu của lực hấp dẫn bằng cách xem xét một nguyên tử hydrogen. Nguyên tử này có kích thước cỡ một phần trăm triệu (10^{-8}) cm bao gồm một proton và một electron ràng buộc với nhau bởi lực điện từ. Nhưng giả sử bạn loại bỏ hoàn toàn lực này, thì chỉ với lực hấp dẫn ràng buộc proton với electron thôi, nguyên tử hydrogen sẽ phồng to lên cho đến khi đạt tới kích thước còn lớn hơn kích thước cả vũ trụ! Nên biết rằng cường độ của lực hấp dẫn giữa hai vật tỷ lệ với tích khối lượng của chúng (và tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa chúng). Do khối lượng của proton và electron rất nhỏ ($1{,}7\times10^{-27}$ kg với proton, và electron nhẹ hơn khoảng hai ngàn lần), nên lực hấp dẫn giữa chúng rất nhỏ, điều này giải thích cho kích thước khổng lồ của nguyên tử hydrogen nếu lực điện từ bị loại bỏ.

Chỉ ở thang vũ trụ, lực hấp dẫn mới được thể hiện đầy

đủ bởi vì khối lượng của các thiên thể rất lớn, đủ bù đắp cho cường độ vốn dĩ yếu của lực này. Có tác dụng hút các vật thể trong vũ trụ lại với nhau, lực hấp dẫn chính là chất keo của vũ trụ. Các hành tinh (10^{25} kg), sao (10^{30} kg), thiên hà (10^{41} kg), đám thiên hà (10^{42} kg) (ảnh 4 trong tập ảnh màu) và vũ trụ quan sát được (10^{54} kg) tạo thành một thang bậc các vật thể có khối lượng tăng dần, cho phép lực hấp dẫn thể hiện toàn bộ khả năng tuyệt vời của nó. Chính lực này giữ chúng ta trên mặt đất, giữ Mặt Trăng quay xung quanh hành tinh của chúng ta, giữ các hành tinh quay quanh Mặt Trời, giữ các ngôi sao trong thiên hà và các thiên hà trong các đám của chúng. Loại bỏ lực hấp dẫn, chúng ta sẽ trôi nổi trong không gian, Mặt Trăng, các hành tinh và các ngôi sao sẽ tản mát trong khoảng mênh mông của vũ trụ và các thiên hà cũng như các đám thiên hà sẽ tan rã. Chính lực hấp dẫn đã gánh trách nhiệm tạo nên kiến trúc tuyệt vời của vũ trụ (ảnh 5 trong tập ảnh màu). Nhờ lực này chúng ta có được những cấu trúc kỳ vĩ, tráng lệ tô điểm bầu trời. Giống như lực điện từ, lực hấp dẫn có tầm tác dụng vô hạn. Nhưng khác với lực điện từ không đếm xỉa đến các hạt trung hòa, lực hấp dẫn không hề phân biệt, mà tác dụng lên tất cả mọi thứ có khối lượng. Hạt truyền tương tác của lực này là một hạt giả thuyết được gọi là "graviton", mà sự tồn tại của nó vẫn đang chờ được thực nghiệm kiểm chứng. Vì vậy, khi bạn vấp ngã, hãy nghĩ rằng trong khi ngã xuống, các hạt graviton vẫn liên tục được trao đổi giữa cơ thể bạn và Trái Đất để xác định quỹ đạo ngã của cơ thể!

Chúng ta đã thấy rằng mỗi lực cơ bản đều gắn với một hạt

truyền tương tác của lực đó. Và ngay bây giờ chúng ta sẽ thấy rằng mỗi lực này lại gắn với một trường.

Các trường lực, vật chất và năng lượng choán đầy chân không

Không gian không phải là chân không. Chúng ta sống triền miên tắm mình trong một đại dương sóng điện từ. Đây là những sóng mang các chương trình radio và truyền hình yêu thích của chúng ta từ đài phát đến từng gia đình, cho phép ta gửi tin nhắn SMS gần như ngay lập tức cho bất kỳ ai trên toàn cầu. Chúng cũng đóng vai trò duy trì cuộc sống trên hành tinh chúng ta bằng cách mang nhiệt và năng lượng của Mặt Trời tới Trái Đất. Chúng ta gọi đại dương sóng này là "trường điện từ".

Như chúng ta đã biết, khái niệm trường đã được nhà vật lý người Anh Michael Faraday đưa ra vào thế kỷ 19. Cần nhớ lại rằng, để giải thích tác dụng từ xa của các lực điện và từ, Faraday đã tưởng tượng ra đường sức xuất phát từ một điện tích hay một cực của nam châm lấp đầy không gian và tạo thành một điện trường hoặc từ trường rộng lớn. Ý tưởng này sau đó đã được James Clerk Maxwell chuyển thành các phương trình toán học vào năm 1873. Ông đã thực hiện một sự thống nhất lớn giữa điện và từ, ông chứng minh rằng hai hiện tượng trên chỉ là hai mặt của cùng một thực tại: đó là trường điện từ. Trường này lan truyền trong không gian dưới dạng sóng, giống như sóng lan truyền trên mặt ao hồ khi có

hòn đá được ném xuống. Hơn nữa, ông còn hợp nhất quang học với điện từ học bằng cách chứng minh rằng sóng điện từ lan truyền với tốc độ đúng bằng tốc độ ánh sáng: chúng chính là các sóng ánh sáng.

Khi đưa vào khái niệm trường, Faraday và Maxwell đã gắn kết chặt chẽ không thể tách rời sự trống rỗng của không gian với vật chất trong đó. Khi làm như vậy, họ đã khởi phát một cuộc cách mạng thực sự trong cách nghĩ của chúng ta về thế giới. Sau khi đã thống trị tư tưởng phương Tây khoảng ba trăm năm, quan điểm cổ điển của Newton về một vũ trụ cơ giới, với một không gian trống rỗng, và thi thoảng có những hạt vật chất rắn chắc và không thể chia cắt được đi qua, chịu tác dụng của các lực mù quáng, đã phải nhường chỗ cho quan niệm về một vũ trụ với không gian không còn trống rỗng nữa mà luôn hiện diện nhiều trường đa dạng khác nhau chi phối chuyển động của các vật.

Sau khi đưa trường điện từ vào vật lý, khái niệm trường đã tiếp tục được hoàn thiện và phát triển rực rỡ trong những thế kỷ tiếp theo để ngày hôm nay trở thành một trong những khái niệm cơ bản của vật lý đương đại. Cũng như lực điện từ gắn với trường điện từ, từng lực trong ba lực cơ bản còn lại cũng gắn với một trường. Giống như chúng ta đang tắm mình trong đại dương của các trường điện từ, trường hấp dẫn cũng bao quanh chúng ta ở khắp nơi: Trái Đất, Mặt Trăng, Mặt Trời, các hành tinh khác của hệ Mặt Trời... Chính trường hấp dẫn của Trái Đất đã giữ chúng ta trên bề mặt của nó và làm cho Mặt Trăng quay xung quanh hành tinh này. Trường

của lực hạt nhân mạnh liên kết các proton và neutron trong hạt nhân nguyên tử. Cuối cùng, trường lực hạt nhân yếu làm cho một số nguyên tử phân rã sau một thời gian nhất định.

Nhưng không chỉ các lực cơ bản mới gắn với các trường tương ứng. Mỗi hạt vật chất cũng có trường riêng của nó. Ở đây cần nhớ lại những gì mà cơ học lượng tử đã dạy chúng ta về bản chất kép của ánh sáng: tùy theo tình huống thí nghiệm, nó có thể thể hiện phương diện hạt hay sóng. Quan trọng hơn nữa, cơ học lượng tử cũng cho chúng ta biết rằng vật chất, giống như ánh sáng, cũng có lưỡng tính sóng hạt: khi thiết bị đo hoạt động, khía cạnh hạt sẽ được thể hiện; còn ngược lại, khi máy đo không hoạt động, hạt sẽ khoác bộ quần áo sóng của nó. Sóng này cho biết xác suất tìm thấy hạt ở một vị trí nào đó. Sóng xác suất này được gắn với trường của hạt. Kết quả là, chúng ta cũng triển miên tắm mình trong các trường gắn với electron, proton, và tất cả các hạt khác của vật chất.

Một trường năng lượng nguyên thủy

Nếu tính đến tất cả các trường của các lực và vật chất khả hữu, thì cuộc tổng điều tra của chúng ta về các trường trong không gian liệu có đầy đủ không? Chắc chắn là không. Các nhà vật lý hiện nay tin rằng ngay cả nếu chúng ta "loại bỏ" hết khỏi không gian tất cả các bức xạ và vật chất, thì sẽ vẫn luôn có một trường năng lượng còn sót lại không liên quan gì tới ánh sáng hay vật chất. Sinh ra trong những khoảnh khắc của giây đầu tiên sau vụ nổ nguyên thủy, trường năng lượng này được

gọi là "trường Higgs" – được đặt theo tên một trong số những nhà vật lý đưa ra khái niệm này, Peter Higgs (sinh năm 1929)[1] (hình) – trường này có mặt khắp nơi trong vũ trụ, và nó gây ra những hệ quả rất cơ bản đối với sự tiến hóa của vũ trụ. Trường Higgs sẽ trải qua nhiều thay đổi trạng thái (hoặc sự chuyển pha) trong quá trình giãn nở và nguội đi của vũ trụ. Sau đó, khi vũ trụ được một phần mười tỷ (10^{-10}) giây, thì trường năng lượng nguyên thủy này sẽ chuyển sang một pha mới. Và vũ trụ bước vào kỷ nguyên "điện yếu". Chính nhờ sự tương tác với trường Higgs của các hạt cơ bản tham gia tương tác yếu mà các hạt này, và do đó, cả bản thân chúng ta và tất cả mọi thứ trong cuộc sống, có được khối lượng và thế giới được như hiện nay.

Để hiểu được nó là gì, chúng ta phải mạnh dạn ngoại suy các định luật vật lý đã biết tới những thời gian lùi xa nhất có thể. Giống như nhà thám hiểm lần theo con sông để tìm về nguồn, nhà thiên văn học dùng các phương trình (của thuyết tương đối rộng) để lần theo lịch sử vũ trụ đến nguồn gốc của nó là Big Bang. Nhưng như chúng ta đã biết, không thể quay

---

[1] Đồng thời với Peter Higgs, các nhà nghiên cứu khác, gồm hai nhà vật lý Bỉ François Englert (sinh năm 1932) và Robert Brout (1928-2011), cũng đề xuất sự tồn tại của một trường như vậy và hạt liên quan: boson Higgs. Sau phát hiện của CERN vào năm 2013, giải Nobel vật lý đã được trao cho Higgs và Englert (còn Brout đã mất).

ngược trở lại đến tận nguồn gốc của vũ trụ bởi vì, do thiếu một lý thuyết về hấp dẫn lượng tử, vật lý mà ta đã biết mất hiệu lực ở những thời điểm nhỏ hơn thời gian Planck, 10^{-43} giây. Vì vậy chúng ta sẽ bắt đầu câu chuyện của vũ trụ từ thời điểm Planck. Do vũ trụ ngày nay đang giãn nở và không gian của nó không ngừng loãng ra và nguội đi, nên nếu đảo ngược dòng các sự kiện, ta sẽ suy ra rằng nó phải bắt đầu sự tồn tại của mình từ một trạng thái vô cùng nhỏ, đặc và nóng. Các tính toán cho thấy vào thời gian Planck, vũ trụ có kích thước cỡ 10^{-33} cm (hàng trăm tỷ tỷ lần nhỏ hơn một hạt nhân nguyên tử), với mật độ không thể tưởng tượng nổi là 10^{93}g/cm^3 và nhiệt độ cao khủng khiếp, 10^{32} Kelvin (nóng hơn tất cả các địa ngục mà Dante có thể tưởng tượng!). Ở những nhiệt độ như vậy, mọi trường năng lượng trong vũ trụ phải chịu các thăng giáng cực mạnh, giống như các chuyển động hỗn loạn khuấy động bề mặt của nước sôi trong nồi, nhưng phải nhân lên đến cực hạn. Những thăng giáng này làm cho cường độ của trường thay đổi ở xung quanh giá trị 0. Khi vũ trụ được làm loãng và nguội đi, mật độ bức xạ và vật chất rất lớn ban đầu sẽ giảm dần, kéo theo nhiệt độ và cường độ thăng giáng cũng giảm đi.

Ở đây, một câu hỏi được đặt ra: liệu giá trị của trường có tiến tới giá trị trung bình bằng zero, giá trị mà chúng ta gán một cách trực giác cho mọi không gian trống rỗng, hay là tiến tới một giá trị khác, khác với zero? Thật kỳ lạ, và trái với trực giác của chúng ta, câu trả lời thứ hai mới là đúng. Sự thăng giáng của trường năng lượng nguyên thủy giảm dần cường độ khi vũ trụ nguội đi, không ổn định ở giá trị zero, mà ở một

giá trị lớn hơn 0 một chút. Điều này có nghĩa là không gian không bao giờ có thể là hoàn toàn trống rỗng.

Sự nguội lạnh và phá vỡ đối xứng

Để giải thích hành vi kỳ lạ này, chúng ta phải lạc để một chút để xem xét hành vi của một chất mà chúng ta ai cũng rất quen thuộc: nước. Nước thay đổi trạng thái và vẻ ngoài theo nhiệt độ môi trường: nó có thể là rắn, lỏng hoặc khí. Hãy xét một mẩu băng. Miễn là nhiệt độ vẫn thấp hơn 0 độ Celsius, băng sẽ vẫn ở trạng thái rắn. Nhưng ngay khi nhiệt độ tăng lên trên 0 độ Celsius, mẩu băng sẽ tan chảy, và biến thành một vũng nước. Sự biến đổi mạnh mẽ đến mức nếu bạn chưa bao giờ quan sát băng tan, bạn sẽ không bao giờ kết nối được hai hiện tượng này. Tuy nhiên, mẩu băng và vũng nước có cùng thành phần phân tử, mỗi phân tử là kết quả của sự kết hợp hai nguyên tử hydrogen với một nguyên tử oxygen. Nếu bạn tiếp tục làm nóng vũng nước, sẽ không có gì xảy ra cho đến khi nhiệt độ đạt đến 100 độ Celsius: nước sẽ sôi và biến thành hơi nước. Những biến đổi trạng thái này, mà các nhà vật lý gọi là "sự chuyển pha", là do nhiệt độ càng cao, chuyển động của các thành phần tạo nên vật chất càng mạnh. Ở nhiệt độ dưới 0 độ Celsius, các phân tử nước được giữ chặt trong mạng rắn của các tinh thể băng có đối xứng lục giác – xoay một góc sáu mươi độ (360/6) hoặc các bội số của nó xung quanh trục trung tâm sẽ giữ nguyên hình dạng của chúng – đúng như những gì chúng ta thấy trên cửa sổ vào mùa đông và làm

thỏa mãn cảm quan thẩm mỹ của chúng ta (hình 6 trong tập ảnh màu). Các chuyển động phân tử này quá uể oải đến mức chúng không thể làm nhiễu động sự vững chắc của cấu trúc tinh thể. Nhưng ngay khi nhiệt độ tăng lên trên 0 độ Celsius, chuyển động phân tử sẽ trở nên mạnh mẽ đến mức các phân tử nước không còn được giữ chắc trong mạng tinh thể nữa, và nước trở nên lỏng. Nếu bạn đặt một mẩu băng vào ly nước ấm, bạn sẽ thấy nó biến thành dạng lỏng vì những va chạm lặp đi lặp lại của các phân tử nước thuộc cục băng với các phân tử nước ấm.

Các chuyển pha luôn đi kèm với sự mất hoặc đạt được đối xứng. Sự đối xứng được định nghĩa ở đây là số các biến đổi có thể áp đặt lên một hình hoặc một vật mà không làm thay đổi hình dạng của nó. Chẳng hạn, vòng tròn có bậc đối xứng quay cao nhất: bạn có thể quay nó một góc bất kỳ, hình dạng của nó vẫn sẽ không thay đổi. Hình vuông ít đối xứng hơn vòng tròn bởi vì chỉ có các phép quay chín mươi, một trăm tám mươi, hai trăm bảy mươi và ba trăm sáu mươi độ mới cho phép nó duy trì hình dạng của mình. Hình chữ nhật thậm chí còn ít đối xứng hơn bởi vì chỉ có phép quay một trăm tám mươi và ba trăm sáu mươi độ mới bảo tồn hình dạng của nó. Còn nước thì sao? Bậc đối xứng của nó giảm dần khi nhiệt độ giảm. Thực tế, khi nhiệt độ trên 100 độ Celsius và nước ở dạng hơi, các phân tử của nó không còn bị ràng buộc nữa và được tự do di chuyển đến bất cứ nơi nào chúng muốn, theo mọi hướng khả dĩ, không có hướng nào là được ưu tiên cả. Trạng thái hơi này có bậc đối xứng rất cao vì bất cứ phép quay

nào với bất kỳ nhóm phân tử nào, hình dạng của tổng thể các phân tử hơi nước vẫn giữ nguyên như thế. Khi nhiệt độ giảm xuống dưới 100 độ Celsius nhưng lớn hơn 0, nước trở thành chất lỏng. Nó ít đối xứng hơn hơi nước bởi vì trong một vũng nước, các phân tử được sắp xếp theo một trật tự nhất định, các nguyên tử hydrogen của một phân tử ở gần với nguyên tử oxygen của hàng xóm của nó. Mà có trật tự hơn nghĩa là ít đối xứng hơn. Khi nhiệt độ giảm xuống dưới 0 độ Celsius, nước lỏng trở thành nước đá hay băng. Các phân tử nước trong mạng tinh thể được gióng hàng giống như những người lính vậy. Trật tự lúc này tăng lên đáng kể, và do đó đối xứng càng ít đi. Người ta nói rằng đã có sự "phá vỡ đối xứng".

Các khái niệm chuyển pha và phá vỡ đối xứng được áp dụng không chỉ đối với nước, mà còn cho cả vũ trụ trong quá trình tiến hóa của nó. Chúng ta đã thấy rằng việc nguội lạnh đi cho phép cấu trúc (ví dụ của một mẩu băng) đột hiện. Khi một đám mây hơi nước biến đổi thành băng, cái đơn giản trở thành cái phức tạp và đối xứng được thay thế bằng bất đối xứng. Giống như nước mất dần sự đối xứng khi lạnh dần, nó chuyển từ hơi nước sang nước lỏng, sau đó từ trạng thái lỏng sang trạng thái rắn, các nhà thiên văn học tin rằng vũ trụ cũng trải qua quá trình chuyển pha và phá vỡ đối xứng trong quá trình loãng và lạnh dần theo thời gian. Các chuyển pha trong trường hợp này không thể hiện bằng sự biến đổi của hơi nước thành chất lỏng hoặc chất lỏng thành chất rắn, mà bằng những thay đổi sâu sắc trong các tính chất của trường Higgs.

Trường Higgs và nguồn gốc của khối lượng

Như nước lỏng chuyển thành các tinh thể băng khi nhiệt độ giảm xuống dưới 0 độ Celsius, mô hình chuẩn (lý thuyết mô tả tốt nhất tính chất của các hạt cơ bản đã biết) cho chúng ta biết rằng khi đồng hồ vũ trụ điểm một phần mười tỷ (10^{-10}) giây trường năng lượng nguyên thủy chuyển sang một pha mới và vũ trụ bước vào kỷ nguyên điện yếu (dưới đây chúng ta sẽ thấy định nghĩa lực điện yếu). Vào thời điểm đó, vũ trụ, do sự giãn nở của nó, đã nguội đến nhiệt độ một triệu tỷ (10^{15}) độ. Nhiệt độ này vẫn là rất cao, nhưng đã giảm đi hàng trăm triệu tỷ lần so với nhiệt độ của vũ trụ tại thời gian Planck 10^{-43} giây. Chính sự chuyển pha này của trường Higgs đã tạo ra khối lượng cho mỗi hạt cơ bản, và do đó cho tất cả các vật trong vũ trụ, bao gồm cả bạn và tôi, bởi vì tất cả chúng ta đều được tạo nên bởi các hạt cơ bản này.

Vậy khối lượng của một vật là gì? Nó có thể được định nghĩa là tính chất làm cho vật cản trở hay chống lại chuyển động[1], hay nói cách khác, khối lượng gây ra quán tính của vật. Để tạo ra khối lượng của các hạt cơ bản, trường Higgs phải tạo ra thứ chống lại chuyển động của chúng, và cái mà nó tạo ra hành xử như một loại mật mía vũ trụ mà các hạt cơ bản phải vạch đường đi qua. Thứ mật mía này ngăn cản mọi sự

---

[1] Trong vật lý, "gia tốc" được định nghĩa là đại lượng đặc trưng cho sự thay đổi tốc độ chuyển động của một vật. Nó được tính bằng độ biến thiên của tốc độ trong mỗi giây.

thay đổi tốc độ của các hạt, nghĩa là ngăn cản bất kỳ chuyển động có gia tốc nào[1]. Sự ngăn cản này không giống nhau đối với tất cả các hạt cơ bản, do đó khối lượng của chúng rất đa dạng. Chẳng hạn photon không có khối lượng vì nó vượt qua trường Higgs như không có chuyện gì xảy ra. Chỉ có nó là di chuyển với tốc độ cao nhất, tốc độ ánh sáng. Electron tương tác rất ít với trường này, nghĩa là nó có khối lượng rất nhỏ, nhỏ hơn 1836 lần so với proton và 1852 lần so với neutron. Neutrino tương tác thậm chí còn ít hơn nữa bởi vì khối lượng của nó nhỏ hơn hàng triệu lần so với electron. Các hạt quark (chúng ta biết có sáu quark khác nhau), tức các cấu phần tạo nên neutron và proton, cũng như vậy. Chúng cũng có nhiều khối lượng khác nhau. Hạt quark nặng nhất, được gọi là "quark top", có khối lượng nặng gấp 350.000 lần electron, bởi vì tương tác mạnh mẽ nhất với trường Higgs, nên nó khó khăn hơn 350.000 lần so với electron để tăng tốc qua trường này. Ngược lại, các quark nhẹ nhất, quack up và quark down, là những hạt tạo nên proton và neutron, chỉ có khối lượng gấp khoảng 9 lần khối lượng electron, bởi chúng tương tác với trường Higgs yếu hơn so với quark top.

Tại sao lại có nhiều khối lượng tới như vậy và tại sao mỗi hạt cơ bản lại có chính xác khối lượng đặc trưng cho nó? Câu trả lời phụ thuộc vào cơ chế tương tác của mỗi hạt với trường Higgs mà cho tới thời điểm này chúng ta vẫn còn chưa biết.

---

[1] Trường Higgs chỉ ảnh hưởng tới các hạt chuyển động có gia tốc. Nó không tác động đến các hạt chuyển động với tốc độ không đổi.

Chúng ta chưa có lý thuyết nào giải thích được tại sao photon lại không có khối lượng hoặc tại sao electron lại nhẹ hơn gần 2000 lần so với proton. Một lý thuyết như vậy sẽ là chiếc Chén thánh của vật lý hiện đại. Chỉ có một điều chắc chắn là nếu không có sự hiện diện của trường Higgs, các hạt và do đó tất cả mọi thứ trong cuộc sống sẽ không có khối lượng, giống như photon – và thế giới sẽ không như nó đang là hiện nay.

Vì vậy, những nỗ lực của chúng ta mỗi ngày để di chuyển mọi thứ xung quanh – đặt một quyển sách lên kệ sách, kéo một chiếc vali lên gác, hoặc đẩy một chiếc xe hỏng – là hậu quả trực tiếp từ sự tương tác của các vật thể này, hay đúng hơn là của các hạt cơ bản tạo nên chúng, với trường Higgs lấp đầy không gian. Lần tới, nếu bạn không thể di chuyển được một đồ đạc quá nặng, thì bạn đã biết ai là thủ phạm rồi đó...

Hạt của Chúa

Như vậy, để giải thích khối lượng của các hạt cơ bản, lý thuyết chuẩn đã phải thừa nhận sự tồn tại của một loại chất mới có mặt khắp nơi trong vũ trụ, đó là trường Higgs. Người ta có thể băn khoăn tự hỏi liệu cái trường Higgs này có phải là biểu hiện mới của ether của Aristotle, được cập nhật theo xu thế thời đại hay không. Đúng là có một sự giống nhau giữa chúng theo nghĩa cả hai đều buộc chúng ta phải suy nghĩ lại định nghĩa của chúng ta về cái chân không của không gian. Nhưng chúng không thể bị lẫn lộn vì nhiều lý do. Thứ nhất, không giống như ether, trường Higgs không truyền sóng

điện từ (hay cũng chính là sóng ánh sáng) như suy nghĩ của Maxwell. Như vậy sự hiện diện của nó không ảnh hưởng đến tốc độ ánh sáng. Vì vậy mà việc các thí nghiệm như của Michelson-Morley thực hiện, như ta đã thấy, vào cuối thế kỷ 19, cùng với thuyết tương đối của Einstein đã tống khứ khái niệm ether vào quên lãng, không hề hấn gì đến trường Higgs cả. Mặt khác, vì trường Higgs không có bất cứ ảnh hưởng nào tới tốc độ của các vật chuyển động với tốc độ không đổi, nên nó không thể, như trường hợp của ether, tạo ra tình trạng đặc quyền của một người quan sát nào đó, và điều này hoàn toàn phù hợp với thuyết tương đối hẹp của Einstein.

Nhưng liệu có bất kỳ bằng chứng thực nghiệm nào về trường Higgs nổi tiếng này hay nó chỉ là sản phẩm của trí tưởng tượng phong phú của các nhà vật lý? Chúng ta đã thấy rằng mọi trường đều gắn với một hạt cơ bản. Như trường điện từ gắn với photon, và trường liên quan đến lực hạt nhân yếu gắn với các hạt W và Z, lý thuyết chuẩn giả định rằng trường Higgs cũng phải được gắn với một hạt, mà nhà vật lý người Mỹ Leon Lederman (sinh năm 1922) đã gọi một cách có lẽ hơi quá khoa trương là "hạt của Chúa", hay như hầu hết các nhà vật lý đơn giản gọi là "boson Higgs[1]".

Cuộc truy tìm boson Higgs đã được tổ chức từ hơn bốn

---

[1] Thuật ngữ "boson", theo tên của nhà vật lý Ấn Độ Satyendranath Bose (1894-1974), là thuật ngữ dùng chung cho tất cả các hạt có spin là số nguyên (0, 1, 2...). Các photon và các hạt W và Z thuộc họ boson có spin bằng 1. Boson Higgs có spin bằng 0.

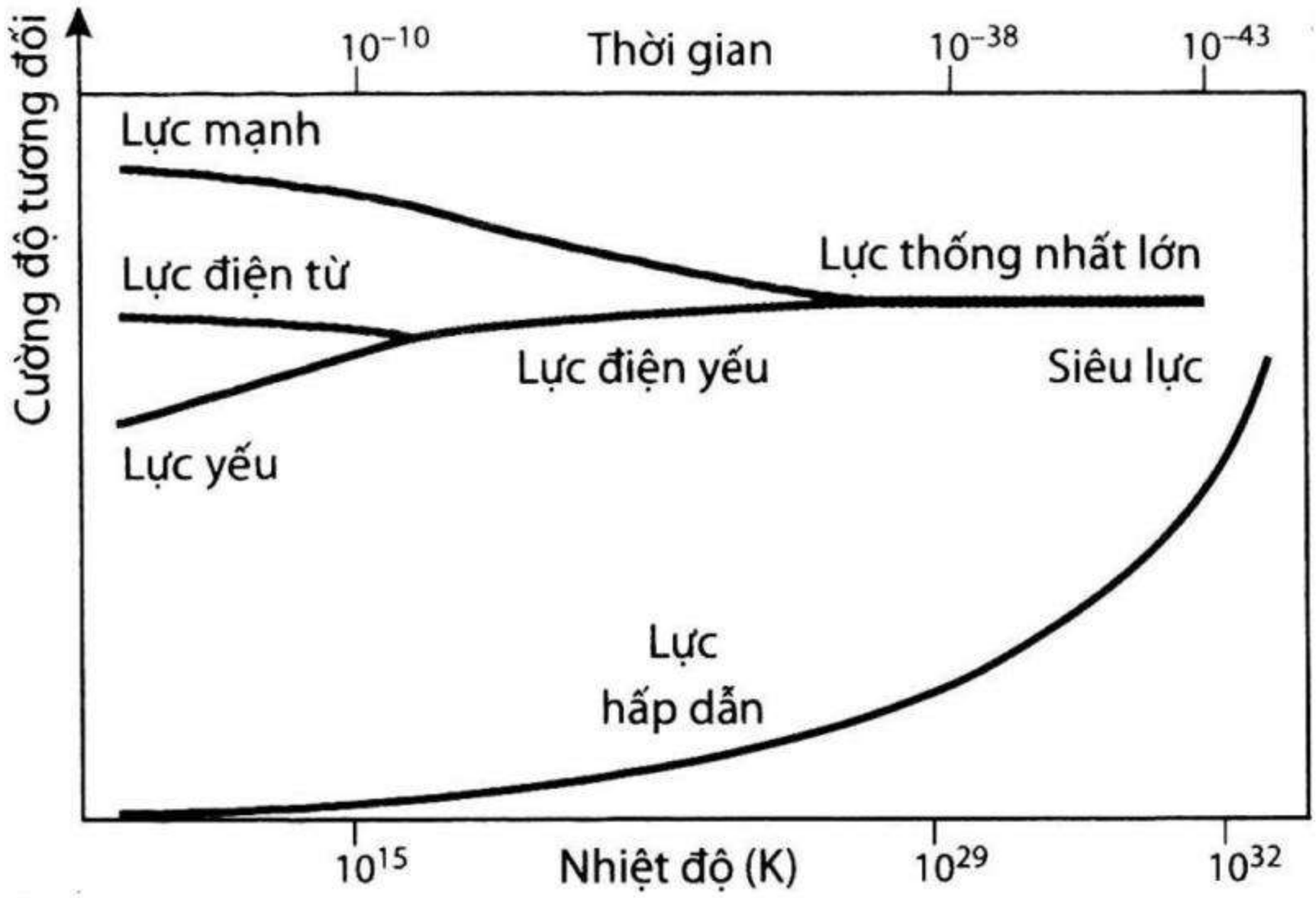
mươi lăm năm trước, nhưng trong nhiều thập kỷ không mang lại kết quả gì. Lý do là khối lượng của hạt Higgs rất lớn, và theo sự tương đương giữa khối lượng và năng lượng được phát hiện bởi Einstein, thì khối lượng lớn sẽ có năng lượng lớn. Do đó, cần phải kiên nhẫn chờ đợi cho đến khi xuất hiện máy va chạm (gia tốc) LHC tại CERN (sơ đồ và hình 7 trong tập ảnh màu). Bằng cách cho hai chùm hạt va chạm trực diện với tốc độ gần bằng tốc độ ánh sáng, LHC có thể tái tạo năng lượng cực lớn đã từng tồn tại trong vũ trụ sơ khai tại thời điểm một phần ngàn tỷ (10^{-12}) giây sau Big Bang. Nhờ thế nó có khả năng làm xuất hiện những hạt có khối lượng cực kỳ lớn. Việc phát hiện ra boson Higgs của LHC đã được tuyên bố rộng rãi vào tháng 3 năm 2013 (hình 8 trong tập ảnh màu). Có vẻ như phát hiện này đã khẳng định các tính chất mà mô hình chuẩn đã tiên đoán cho hạt Higgs: khối lượng của nó lớn gấp khoảng 130 lần khối lượng proton, tức có năng lượng cỡ 125 tỷ electron-volt, không spin và không có điện tích. Boson Higgs có thời gian sống khoảng 1,5 phần mười ngàn tỷ tỷ (10^{-22}) giây, điều này đã gây thêm khó khăn lớn cho việc phát hiện ra nó. Các nhà vật lý đã thở phào nhẹ nhõm với việc khám phá ra hạt Higgs: vậy là trường gắn với nó và trường tạo ra khối lượng cho vạn vật thực sự tồn tại! Lý thuyết chuẩn, một hình mẫu của vật lý hạt cơ bản từ nhiều thập kỷ, một lần nữa đã vượt qua được bài kiểm tra căn bản. Dù sao thì Ủy ban Nobel cũng đã không hà tiện: vào tháng 11 năm 2013, họ đã trao giải thưởng vật lý cho Peter Higgs và François Englert vì "đã khám phá ra về mặt lý thuyết một cơ chế đóng góp vào sự

hiểu biết của chúng ta về nguồn gốc khối lượng của các hạt hạ nguyên tử". Điều đáng tiếc duy nhất liên quan đến vinh dự hoàn toàn xứng đáng này là: sự hợp tác quốc tế của hàng ngàn nhà nghiên cứu đằng sau LHC và nhiều thí nghiệm chứng minh hạt Higgs đã không hề được nhắc đến trong giải thưởng uy tín này. Bởi nếu không được xác minh bằng thực nghiệm, bất kỳ lý thuyết vật lý nào, dù là tài tình đến đâu chăng nữa, cũng chỉ có tính siêu hình mà thôi.

Các lực chỉ là một vào thuở ban đầu

Khái niệm về một trường năng lượng nguyên thủy có mặt khắp nơi trong vũ trụ cũng đóng vai trò là động lực mạnh mẽ thúc đẩy các nhà vật lý theo đuổi chương trình thống nhất bốn lực cơ bản chi phối vũ trụ. Ý tưởng đó như sau: được tách ra riêng rẽ trong thế giới đã nguội lạnh ngày nay, nhưng bốn lực ấy đã từng được thống nhất thành một siêu lực duy nhất trong vũ trụ nóng nguyên thủy; khi nguội đi, vũ trụ đã mất đi tính đối xứng và sự đơn giản ngày xa xưa, và siêu lực duy nhất đã bị chia tách thành bốn lực riêng biệt (hình).

Ta đã thấy rằng khi đồng hồ vũ trụ điểm 10^{-10} giây và nhiệt độ của vũ trụ giảm xuống còn 10^{15} Kelvin, trường Higgs chuyển pha, giống như các tinh thể băng xuất hiện khi nhiệt độ nước xuống dưới 0 độ: các hạt cơ bản mà trước đây không có khối lượng, thì tại thời điểm định mệnh này, đã có do tương tác với trường Higgs. Giống như nước trở thành băng bị mất đi tính đối xứng, vũ trụ cũng như vậy: trong khi chúng ta có thể

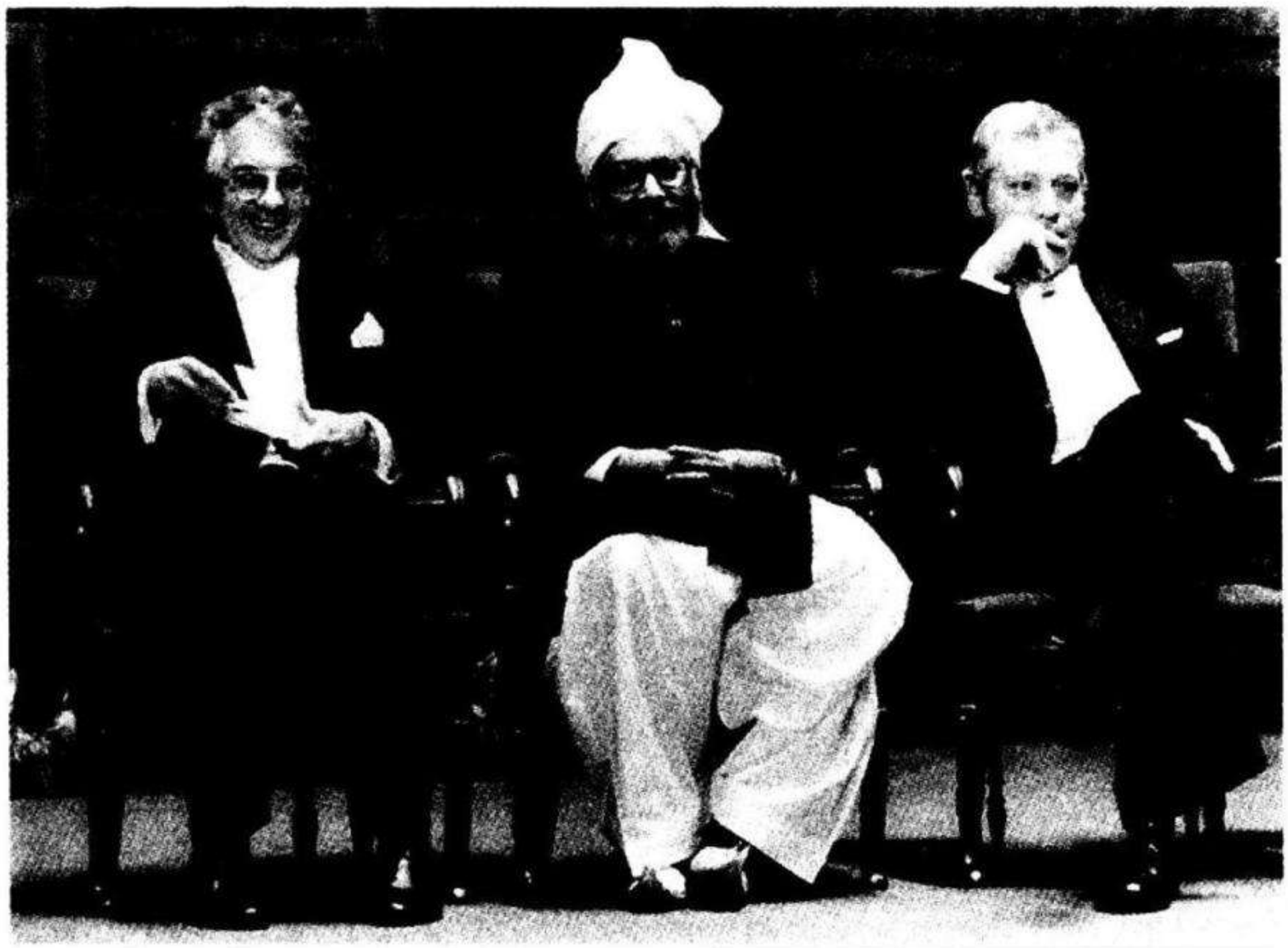


Sự thống nhất các lực. Bốn lực cơ bản là khác biệt, với cường độ rất khác nhau, ở nhiệt độ thấp của vũ trụ hiện nay. Nhưng các nhà vật lý nghĩ rằng chúng đã từng thống nhất thành một "siêu lực" khi vũ trụ ở giai đoạn cực nóng, đó là những khoảnh khắc của giây đầu tiên sau Big Bang.

vô tư trao đổi khối lượng của các hạt trước khi trường Higgs chuyển pha vì chúng vốn không có khối lượng, thì sau đó sẽ không còn được như thế nữa. Vũ trụ đã mất đi đối xứng về khối lượng trong quá trình nguội đi. Các nhà vật lý nói rằng khi này đã có sự "phá vỡ đối xứng". Vào cuối những năm 1960, hai nhà vật lý người Mỹ là Sheldon Glashow (1932) và Steven Weinberg (1933) và nhà vật lý người Pakistan Abdus Salam (1926-1996) đã phát hiện ra rằng trước khi trường Higgs chuyển pha, không chỉ tất cả các hạt truyền các lực cơ bản có cùng khối lượng bằng 0, mà photon, hạt truyền tương tác điện từ, và W và Z, các hạt truyền lực hạt nhân yếu, tất thảy đều có

những tính chất giống hệt nhau. Nếu không có sự hiện diện của trường Higgs, những hạt này có thể hoán đổi cho nhau ở mọi điểm, và chúng có thể thay thế cho nhau mà không làm thay đổi bất kỳ quá trình vật lý nào. Do đó mà có sự đối xứng hoàn hảo giữa lực điện từ và lực hạt nhân yếu. Nói cách khác, trước khi trường Higgs chuyển pha, chúng được thống nhất thành một lực duy nhất: lực điện yếu. Sự đối xứng giữa hai lực này không còn rõ ràng trong vũ trụ ngày nay vì sự tương tác giữa các hạt truyền tương tác với trường Higgs đã làm cho chúng có khối lượng hoàn toàn khác nhau: photon vẫn giữ khối lượng bằng 0, nhưng các hạt W và Z thu được khối lượng lần lượt gấp 86 và 97 lần so với proton. Nghĩa là sự đối xứng đã bị phá vỡ. Việc khám phá ra sự thống nhất của lực điện từ với lực hạt nhân yếu của ba nhà vật lý đã được trao giải Nobel Vật lý năm 1979 (hình) ngay cả trước khi phát hiện ra các hạt W và Z bằng thực nghiệm tại CERN năm 1983. Đóng góp to lớn của Glashow, Weinberg và Salam là đã khám phá ra bí mật của cái chân không chứa đầy năng lượng nguyên thủy để làm sáng tỏ một nguyên lý đối xứng cơ bản của tự nhiên.

Thành công của việc thống nhất lực điện từ và lực hạt nhân yếu thành một lực gọi là "lực điện yếu" đã thúc đẩy các nhà vật lý tự hỏi liệu hai lực cơ bản còn lại, lực hạt nhân mạnh và lực hấp dẫn có thể cũng làm được như thế không. Các nhà vật lý đã phát triển một lý thuyết thống nhất lực hạt nhân mạnh và lực điện yếu. Ý tưởng cũng vẫn như thế: vũ trụ phải đối xứng hơn khi vũ trụ nóng và non trẻ hơn. Các phép tính cho thấy rằng khi đồng hồ vũ trụ điểm 10^{-38} giây và nhiệt độ lớn hơn 10^{28} độ, cao hơn



Giải Nobel Vật lý đã được trao cho Sheldon Glashow, Abdus Salam và Steven Weinberg (từ trái sang phải) vào năm 1979 vì đã thống nhất được lực điện từ và lực hạt nhân yếu thành lực điện yếu.

mười ngàn tỷ lần so với nhiệt độ khi lực điện từ tách ra khỏi lực hạt nhân yếu, trường năng lượng nguyên thủy lúc đó đang ở một pha khác, và lực điện yếu được kết hợp với lực hạt nhân mạnh thành một lực duy nhất gọi là "điện hạt nhân". Chỉ khi sự giãn nở của vũ trụ làm cho nhiệt độ giảm xuống dưới 10^{28} độ, trường năng lượng mới thay đổi trạng thái – giống như nước chuyển từ trạng thái hơi sang trạng thái lỏng khi nhiệt độ giảm xuống dưới 100 độ Celsius – và lực điện hạt nhân bị tách thành hai: lực điện yếu và lực hạt nhân mạnh. Cho đến thời điểm hiện nay, cái gọi là lý thuyết "thống nhất lớn" vẫn chưa được xác nhận bằng thực

nghiệm. Một trong những tiên đoán ngoạn mục nhất của nó liên quan đến cái chết của proton: proton không phải là bất tử, mà sau một thời gian sẽ tự phân rã thành các hạt khác. Tuy nhiên, mặc dù có những nỗ lực phi thường để săn lùng sự phân rã đó, nhưng cho đến nay chưa ai từng nhìn thấy một proton nào chết cả[1].

Thế còn lực hấp dẫn thì sao? Cho đến nay, nó đã kiên quyết chống lại mọi đề nghị thống nhất với các lực khác, ít nhất là trong khuôn khổ của lý thuyết chuẩn. Kết hợp thuyết tương đối rộng, lý thuyết về lực hấp dẫn, với cơ học lượng tử, lý thuyết tính tới hành vi của các lực khác, như chúng ta đã thấy, luôn dẫn tới các đại lượng vô hạn trong những tình huống cực đoan khi bốn lực đều có tác dụng ngang nhau (như trong một lỗ đen hoặc trong vũ trụ nguyên thủy). Sự xuất hiện của những đại lượng vô hạn như thế cho chúng ta biết rằng, vật lý như chúng ta đã biết không còn chỗ đứng trong những điều kiện cực đoan này. Trong trường hợp của vũ trụ sơ khai, một bức tường đã chắn, ngăn cản chúng ta tiếp cận những thời điểm nhỏ hơn thời gian Planck, 10^{-43} giây, khi vũ trụ còn nóng hơn nhiệt độ không thể tưởng tượng nổi là 10^{32} độ. Liệu có hy vọng vượt qua được bức tường Planck và thống nhất bốn lực thành một siêu lực không? Chúng ta đã viện đến lý thuyết dây, và cả thất bại tương đối của

---

[1] Tuổi thọ của proton được tiên đoán bởi phiên bản đơn giản nhất của lý thuyết thống nhất lớn là 10^{32} năm. Để bù đắp cho sự ngắn ngủi của cuộc sống của mình, các nhà vật lý tìm kiếm cái chết của proton trong một khối lượng lớn chất lỏng. Chẳng hạn, trong một thùng chứa một ngàn tấn chất lỏng, sẽ có $5 \cdot 10^{32}$ proton, và trung bình phải có năm proton phân rã mỗi năm.

nó: bất chấp hàng thập kỷ làm việc miệt mài của rất nhiều nhà vật lý, lý thuyết này vẫn không tiếp xúc trực tiếp được với thực tế và vẫn chỉ là một lý thuyết toán học hơn là vật lý.

Chân không chứa đầy thật màu mỡ

Vậy là cho tới thời điểm này, lý thuyết chuẩn đã đề xuất cho chúng ta diễn tiến của các sự kiện sau đây. Vũ trụ bắt đầu từ một chân không chứa đầy trường năng lượng nguyên thủy (hay trường Higgs). Từ thời điểm 0 đến thời điểm Planck, trong 10^{-43} giây, vũ trụ ở kỷ nguyên Planck. Vật lý đã biết không thể mô tả giai đoạn này. Người ta đã hình dung đủ thứ kịch bản, kể cả những kịch bản kỳ quặc nhất. Ví dụ, khi đó có thể cặp không-thời gian bốn chiều, gắn kết với nhau không thể tách rời trong thế giới ngày nay, không tồn tại hoặc hoàn toàn khác. Không gian có thể có thêm ít nhất là bảy chiều nữa. Phía sau bức tường Planck có thể ẩn chứa một khoảng thời gian vô tận, bởi vì thời gian 10^{-43} giây chỉ là sự ngoại suy của các định luật vật lý đã biết về phía thời điểm zero. Nhưng chính vì những định luật này đã không còn đúng nữa ở những thời điểm nhỏ hơn thời gian Planck, nên cũng chẳng có gì là chắc chắn cả. Thời điểm zero thậm chí có thể không tồn tại! Trong kỷ nguyên Planck, vũ trụ sẽ được chi phối bởi một siêu lực duy nhất và nhiệt độ cùng mật độ của nó sẽ là vô hạn ở thời điểm zero. Đó là những gì thuyết tương đối rộng nói với chúng ta, nhưng vì nó không còn đúng nữa sau bức tường Planck, nên cũng chẳng có gì là chắc chắn.

Khi đồng hồ vũ trụ điểm 10^{-43} giây, vũ trụ bước vào kỷ nguyên thống nhất lớn. Trường năng lượng nguyên thủy trải qua một sự chuyển pha và sự phá vỡ đối xứng đầu tiên xảy ra: siêu lực bị tách thành hai. Từ lúc đó, vũ trụ sẽ được chi phối bởi một cặp lực, lực hấp dẫn và lực điện hạt nhân. Kỷ nguyên thống nhất lớn sẽ kéo dài đến 10^{-38} giây. Vào thời điểm này, trường năng lượng trải qua một sự chuyển pha mới và vũ trụ bước vào kỷ nguyên điện yếu. Và một sự phá vỡ đối xứng nữa lại xảy ra. Bây giờ tới lượt lực điện hạt nhân bị chia tách thành hai: lực hạt nhân mạnh và lực điện yếu. Hai lực này cùng với lực hấp dẫn tạo thành bộ tam hùng thống trị vũ trụ. Sự chuyển pha thứ ba xảy ra khi đồng hồ vũ trụ điểm 10^{-10} giây. Trường năng lượng nguyên thủy bây giờ chuyển sang một pha mới. Vũ trụ bước vào kỷ nguyên điện yếu. Và chính ở giai đoạn này, nhờ sự tương tác của các hạt cơ bản tham gia tương tác yếu với trường Higgs mà các hạt này có khối lượng. Một sự phá vỡ đối xứng nữa xảy ra: bây giờ tới lượt lực điện yếu bị chia tách thành lực hạt nhân yếu và lực điện từ. Vũ trụ từ nay sẽ bị chi phối bởi bộ tứ lực cơ bản như chúng ta đã biết ngày nay. Vậy là vũ trụ bước vào kỷ nguyên của các hạt cơ bản mà, ngoại trừ photon, tất cả đều đã có khối lượng.

Như vậy, ý tưởng mang tính trực quan về một chân không không chứa gì hết không chỉ sai, mà còn rất cần cỗi nữa. Trái lại, quan niệm về một chân không chứa đầy một trường năng lượng thay đổi trạng thái theo tiến trình nguội dần của vũ trụ, chân không ấy thật phì nhiêu và màu mỡ, phù hợp với chân lý. Quan niệm này nói với chúng ta rằng ban đầu tất cả các lực

cơ bản chỉ là một, và hé lộ cho chúng ta thấy sự thống nhất, đối xứng và hài hòa của vũ trụ ở lúc khởi đầu với tất cả vẻ đẹp huy hoàng của chúng[1].

Lực phản hấp dẫn: hằng số vũ trụ của Einstein

Chúng ta đã vinh danh cái chân không chứa đầy thông qua việc xem xét hai chức năng thiết yếu của nó. Trước tiên, chúng ta đã thấy năng lượng nguyên thủy choán đầy chân không, khi thay đổi trạng thái trong quá trình nguội đi của vũ trụ, đã gánh trách nhiệm phá vỡ đối xứng của vũ trụ và tạo đột sinh của tính phức tạp như thế nào. Chúng ta đã đánh giá cao sự chuyển pha liên tiếp của trường năng lượng nguyên thủy đã tạo ra, từ siêu lực duy nhất ban đầu, bốn lực cơ bản định hình nên vũ trụ hiện tại. Sau đó chúng ta đã bày tỏ sự khâm phục vai trò then chốt của chân không chứa đầy trong việc tạo ra khối lượng cho các vật. Chính nó, cái chân không ấy, là kiến trúc sư tạo nên sự đa dạng và phức tạp của thế giới. Nhưng cái chân không chứa đầy không chỉ hài lòng với hai chức năng tuyệt vời này. Bây giờ chúng ta sẽ thấy rằng nó còn đóng vai trò cơ bản ở những khoảnh khắc đầu tiên của vũ trụ bằng cách tác dụng một lực đẩy khổng lồ, và khi

---

[1] Để biết thêm chi tiết về các nguyên lý tinh tế của đối xứng mà tự nhiên đã sử dụng để áp đặt sự thống nhất sâu sắc và hài hòa cho thế giới vật chất, hãy tham khảo cuốn sách *Chaos and Harmony* (Hỗn độn và hài hòa -NXB Trẻ, 2013) của cùng tác giả.

làm điều đó, chính nó đã gánh chịu trách nhiệm cho cái vụ "bang" của Big Bang.

Lý thuyết chuẩn của Big Bang thực ra không nói gì về vụ "bang", vụ nổ đã khởi phát mọi thứ. Cơ chế của vụ nổ lớn nguyên thủy, Big Bang nổi tiếng, vẫn còn là một bí ẩn sâu kín. Ở nhiệt độ và mật độ cực hạn ban đầu, lực chi phối chắc chắn là lực hấp dẫn. Nhưng nó lại là lực hút. Nếu chỉ có nó kiểm soát, thì vũ trụ sẽ co lại chứ không phải bùng nổ tung ra! Không gian, thay vì loãng đi, cũng sẽ co lại! Để có một vụ "bang" thay vì một vụ co sập, cần phải có một lực chống lại lực hấp dẫn, nói một cách khác là một lực phản hấp dẫn.

Thực ra, ý tưởng về một lực phản hấp dẫn trong vũ trụ không quá kỳ lạ như ta nghĩ. Chính cha đẻ của thuyết tương đối, Albert Einstein, là người đã đưa nó vào vật lý. Cần biết rằng, ngoài việc cách mạng hóa các khái niệm của chúng ta về không gian và thời gian và thống nhất vật chất và năng lượng, thuyết tương đối cũng cho phép các nhà vật lý lần đầu tiên trong lịch sử tư tưởng, xây dựng được các mô hình vũ trụ học. Với sự ra đời của thuyết tương đối, các nhà vật lý thiên văn đã có thể, lần đầu tiên, mô tả sự tiến hóa của vũ trụ trong tổng thể của nó bằng các phương trình toán học để hiểu được quá khứ, hiện tại và tương lai của nó.

Năm 1917, hai năm sau khi công bố thuyết tương đối rộng, Einstein đã bắt tay xây dựng một mô hình vũ trụ. Ông nhận thức rõ rằng có một sự khác biệt to lớn giữa thuyết tương đối, đứa con cưng của ông, và vũ trụ quan sát được vào thời đó. Thực tế, thuyết tương đối đã mang lại đặc tính động cho không gian.

Trong phiên bản hẹp, nó cho ta biết rằng chỉ cần một người di chuyển với tốc độ gần với ánh sáng là có thể thấy được thời gian của mình giãn ra và không gian co lại so với không-thời gian của một người quan sát bất động. Trong phiên bản rộng, một trường hấp dẫn cường độ cao, giống như của một lỗ đen, sẽ làm biến đổi hình học của không gian: nó sẽ làm cho không gian uốn cong, vặn xoắn, và gấp lại. Do khía cạnh động nội tại này của không gian, nên các phương trình của thuyết tương đối ương ngạnh nói với Einstein rằng vũ trụ không thể tĩnh được, trong khi tất cả các quan sát ở thời điểm này đều khẳng định ngược lại. Đối với thuyết tương đối, nói về một vũ trụ tĩnh chẳng khác gì tuyên bố rằng một quả bóng ném lên không trung có thể treo lơ lửng trong không gian, không bay lên cũng không rơi xuống. Einstein, nhà cách mạng, lại không đủ niềm tin vào lý thuyết con cưng của mình để lên tiếng chống lại ý kiến chung và mạnh mẽ tuyên bố thuyết tương đối của mình là đúng. Nhà vật lý đã quyết định sửa đổi phương trình của mình bằng cách đưa thêm vào một số hạng mà ông gọi là "hằng số vũ trụ". Trong thâm tâm của Einstein, hằng số vũ trụ này giữ vai trò của một lực phản hấp dẫn có giá trị chính xác bằng cường độ của lực hấp dẫn gây ra bởi toàn bộ vật chất chứa trong vũ trụ. Nó sẽ tác dụng theo hướng ngược lại, và như thế sẽ triệt tiêu hiệu ứng hấp dẫn của vật chất. Và vì vậy mà chúng ta có một vũ trụ tĩnh, không giãn nở cũng không co lại.

Nhưng làm thế nào mà lực phản hấp dẫn này có thể tồn tại? Newton đã dạy chúng ta rằng lực hấp dẫn giữa hai vật luôn luôn là lực hút và cường độ của lực hút này tỷ lệ với

tích khối lượng của chúng và tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa chúng. Nói cách khác, hai vật hút nhau càng mạnh nếu chúng càng nặng và càng gần nhau. Nhưng thuyết tương đối rộng nói với chúng ta rằng quan điểm của Newton quá chật hẹp, nó không thể giải thích được toàn bộ thực tại của thế giới. Nó cho chúng ta biết rằng trường hấp dẫn, và cả cường độ của lực hấp dẫn, được xác định không chỉ bởi khối lượng của các vật thể vật chất (và khoảng cách) như Newton nghĩ, mà còn bởi bất kỳ năng lượng nào (như nhiệt chẳng hạn) hoặc bất kỳ lực nào tác dụng như một áp lực.

Với thuyết tương đối hẹp công bố năm 1905, Einstein đã chứng minh được sự tương đương giữa khối lượng và năng lượng: năng lượng nội tại của vật bằng tích khối lượng của nó với bình phương tốc độ ánh sáng. Vì vậy, nếu bạn so sánh khối lượng của một vật có nhiệt độ bằng nhiệt độ môi trường xung quanh với cùng vật đó nhưng bị nung nóng đến 100 độ Celsius, thì vật nóng sẽ có khối lượng lớn hơn một chút (chỉ một phần trăm ngàn tỷ gram). Khối lượng tăng lên do nhiệt độ cao hơn, tức chuyển động của các nguyên tử mạnh hơn: nghĩa là các nguyên tử tạo nên vật nóng có động năng lớn hơn một chút, vì vậy mà chúng nặng hơn một chút. Thế còn áp lực thì sao? Để gây một áp lực lên vật, bạn cần phải tiêu tốn năng lượng. Ví dụ, để đóng một vali quá đầy quần áo, bạn phải đè thật mạnh. Một lần nữa, năng lượng cũng nghĩa là khối lượng, và năng lượng ép này làm tăng nhẹ khối lượng của vali: nó sẽ nặng hơn so với một vali có cùng trọng lượng quần áo nhưng chiếm thể tích nhỏ hơn để bạn không phải tạo áp lực để đóng nó.

Khối lượng, năng lượng và áp lực đều đóng góp vào lực hấp dẫn tác dụng lên một vật. Hai yếu tố đầu tiên luôn đóng góp một cách tích cực, nghĩa là khối lượng và năng lượng càng lớn thì trường hấp dẫn càng mạnh. Tuy nhiên, áp lực có một đặc tính rất đặc biệt để phân biệt với hai cái kia: tùy thuộc vào hoàn cảnh, nó có thể góp phần tích cực hoặc tiêu cực vào lực hấp dẫn. Khi tích cực, nó sẽ cộng thêm vào trường hấp dẫn, mà trong điều kiện bình thường là không đáng kể so với khối lượng và năng lượng. Và kết quả là lực hấp dẫn hút mà chúng ta đều quen thuộc: chính nó làm rơi quả táo trong vườn cây ăn quả, giữ chúng ta gắn với Trái Đất và ngăn chúng ta trôi nổi trong không khí, và giữ Mặt Trăng trên quỹ đạo của nó xung quanh hành tinh này. Nhưng thuyết tương đối rộng của Einstein dành cho chúng ta một sự ngạc nhiên khi nó làm đảo lộn quan niệm thông thường về lực hấp dẫn: trong một số trường hợp đặc biệt như lúc vũ trụ sơ khai với nhiệt độ và mật độ cực hạn, áp lực, thay vì có tính tích cực, lại có tác dụng tiêu cực, nghĩa là nó có thể đóng góp một giá trị âm vào lực hấp dẫn. Nếu đóng góp này lớn hơn đóng góp tích cực của khối lượng và năng lượng, thì lực hấp dẫn tổng cộng sẽ là âm. Nói cách khác, thay vì "lực hấp dẫn" thông thường có tác dụng giữ mọi thứ lại với nhau, chúng ta sẽ có một loại lực phản hấp dẫn làm cho chúng chạy ra xa nhau. Dưới những điều kiện bình thường, ở thang cuộc sống hằng ngày, áp lực do vật chất tạo thành từ proton, neutron và electron – ví dụ như cuốn sách, bông hoa lan hay con người – luôn là dương. Chỉ trong những hoàn cảnh phi thường, ở thang vũ trụ, áp lực âm mới có thể xuất hiện. Nó không gắn kết với

vật chất bình thường, bởi vật chất luôn có áp lực dương, mà với một chất mới không phải là vật chất hay ánh sáng, mà bản chất của nó ta còn hoàn toàn chưa biết.

Trong tâm trí của Einstein, hằng số vũ trụ mà ông thêm vào các phương trình của thuyết tương đối sẽ đại diện cho áp lực âm này. Không gian của vũ trụ tràn ngập một chất bí ẩn gây ra một lực phản hấp dẫn để bù lại cho lực hấp dẫn tạo bởi vật chất và năng lượng của vũ trụ. Vũ trụ như vậy sẽ là tĩnh, không có sự giãn nở hoặc co lại[1]. Sự mỉa mai của số phận lại muốn rằng: người gánh một phần trách nhiệm về cái chết của ether cũng lại chính là người đưa lại ý tưởng về một chất khác, không rõ bản chất, choán đầy toàn bộ vũ trụ.

Nhưng nếu có một lực hấp dẫn mới đẩy mọi thứ ra xa nhau, thì tại sao chúng ta lại không cảm thấy ảnh hưởng của nó xung quanh mình? Hẳn là chúng ta không quan sát thấy các vật tự phát tách ra xa nhau, cũng như không gian phát nổ vỡ ra muôn vàn mảnh. Lực đẩy này không xuất hiện ở thang cuộc sống hằng ngày. Cha đẻ của thuyết tương đối có thể chứng minh rằng cường độ của lực đẩy này tùy thuộc vào kích thước của vùng mà nó tác động, và lực này càng lớn nếu vùng càng rộng: khoảng cách giữa hai vật càng lớn, thì càng có nhiều không gian để lực phản hấp dẫn gây ra tác động của

---

[1] Thực tế không đơn giản như vậy. Vũ trụ của Einstein, được xây dựng với một hằng số vũ trụ, là không ổn định: chỉ cần một nhiễu động nhỏ thì vũ trụ này sẽ co lại hoặc nổ tung, nó không thể giữ nguyên trạng thái tĩnh được.

nó. Theo tính toán của Einstein thì ở thang cuộc sống hằng ngày (vài mét), Trái Đất (mười hai ngàn km đường kính) hoặc thậm chí hệ Mặt Trời (khoảng sáu tỷ km), tác động của lực phản hấp dẫn nhỏ đến mức không thể phát hiện được. Chỉ ở thang vũ trụ mới có thể cảm nhận được nó. Nói cách khác, việc đưa ra lực phản hấp dẫn mới này không mâu thuẫn với bất kỳ thực kiện đã biết nào. Với sự ra đời của hằng số vũ trụ, Einstein đã xây dựng được một vũ trụ tĩnh, phù hợp với xu hướng thời thượng đương đại, nhưng lại không hề làm ảnh hưởng đến thuyết tương đối rộng của ông.

Einstein chưa bao giờ mô tả nguồn gốc vật lý của hằng số vũ trụ ngoại trừ việc nói nó không liên quan với cả vật chất lẫn ánh sáng. Tình huống đáng lo ngại này đã trở nên lỗi thời khi mà, vào năm 1929, Hubble công bố phát hiện của ông về sự giãn nở của vũ trụ: chung quy vũ trụ không phải là tĩnh! Chắc chắn Einstein đã phải hối tiếc vì không tin tưởng vào điều mà thuyết tương đối, đứa con cưng của ông, luôn khăng khăng khẳng định: vũ trụ phải là động! Lẽ ra ông đã có thể tiên đoán được sự giãn nở của vũ trụ hơn một thập niên trước khám phá vĩ đại của Hubble và có thêm được một danh hiệu vinh quang nữa. Ông đã rất vui khi tống khứ hằng số vũ trụ ra khỏi các phương trình của thuyết tương đối. Ông thậm chí còn đi xa hơn khi nói rằng đó chính là "sai lầm lớn nhất" của cuộc đời ông[1].

---

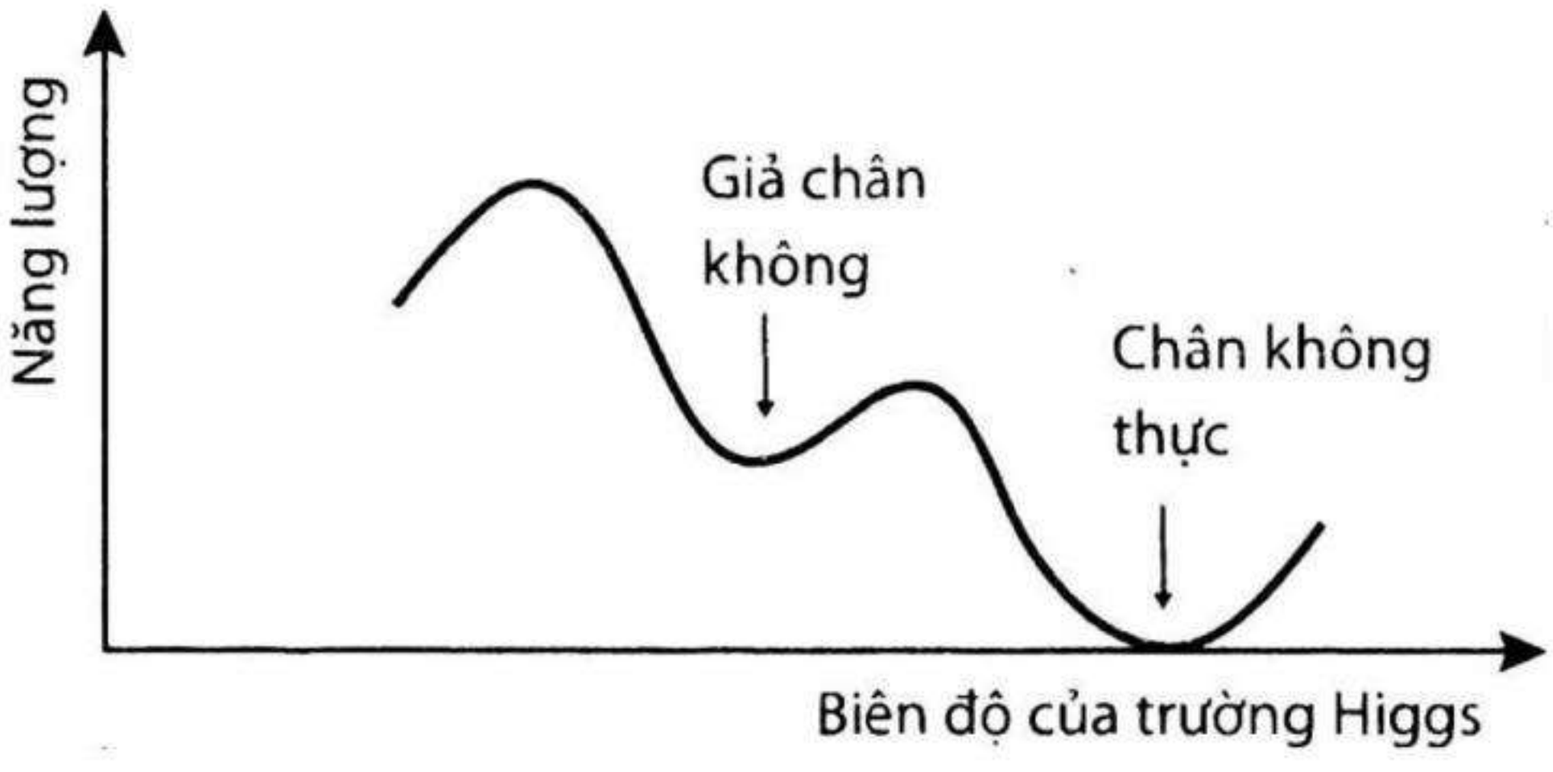
[1] Tuyên bố này của Einstein đã được đề cập trong cuốn tự truyện của nhà vật lý người Mỹ gốc Nga George-Gamow (1904-1968), *My World Line* (Đường vũ trụ của tôi).

Vụ "bang" của Big Bang: một sự giãn nở lạm phát

Nhưng một khi thần đèn thoát ra khỏi cái đèn, bắt ông ta quay trở lại không hề dễ dàng chút nào. Hằng số vũ trụ sẽ chứng minh rằng nó sống rất dai. Giống như con chim phượng hoàng, nó không ngừng tái sinh từ đống tro tàn của mình. Sau nhiều thập kỷ biến mất, nó đã tái xuất hiện vào những năm 1980, dưới một hình thức khác. Và khi đó, nó đã đóng vai chính trên sân khấu vũ trụ học và cách mạng hóa những quan niệm của chúng ta về sự tiến hóa của vũ trụ ở những khoảnh khắc đầu tiên.

Chính nhà vật lý người Mỹ Alan Guth (1947) là người có vinh dự làm hồi sinh hằng số của Einstein trong bối cảnh vũ trụ học hiện đại (hình bên). Vào năm 1979, khi nhà vật lý trẻ tuổi này đang làm việc tại Đại học Stanford, nghiên cứu về các tính chất của trường Higgs trong bối cảnh của lý thuyết thống nhất lớn, bất chợt một chớp sáng lóe lên trong tâm trí ông: điều gì sẽ xảy ra, ông tự hỏi, nếu trong quá trình giãn nở và nguội đi của vũ trụ, cường độ của trường Higgs giảm đi, nhưng không giảm một nhát đến giá trị tối thiểu tương ứng với "chân không thực sự"? Sự tiến hóa của vũ trụ sẽ thay đổi thế nào nếu trường Higgs bị chặn tạm thời trong một phần rất ngắn của một giây, trong trạng thái "giả chân không" (hình bên) với năng lượng của nó thăng giáng xung quanh

một giá trị lớn hơn giá trị tối thiểu? Tình hình sẽ tương tự như một tảng đá ở đỉnh núi, thay vì lăn thẳng xuống thung lũng cho đến khi năng lượng của nó bằng 0, thì trong lúc lăn xuống nó tạm thời bị chặn lại ở một mặt đỡ nào đó với năng lượng vẫn còn dương. Guth nhận ra rằng một kịch bản như vậy sẽ có những hậu quả kỳ lạ đối với sự giãn nở của vũ trụ: một trường năng lượng bị chặn trong một khoảng thời gian ngắn trong một giả chân không sẽ lấp đầy không gian bằng một chất gây áp lực rất lớn, không phải là dương như được tạo ra bởi vật chất và năng lượng, mà là âm, tương tự hằng số vũ trụ của Einstein. Áp lực âm tuyệt vời này sẽ làm vỡ tung vũ trụ ra mọi phía. Liệu sự vỡ tung của vũ trụ này có tương ứng với vụ "bang" của Big Bang nổi tiếng không?



Giả chân không. Trường Higgs lấp đầy toàn bộ vũ trụ có thể vẫn bị chặn trong một giả chân không với năng lượng dương trong một thời gian vô cùng bé. Một thăng giáng lượng tử sẽ làm trường Higgs thoát khỏi giả chân không này và tiến về chân không thực sự, có đặc trưng là năng lượng bằng 0. Cơ chế này tạo ra sự lạm phát của vũ trụ.

Ban đầu, chắc bạn cảm thấy rất ngạc nhiên trước sự phấn khích của Guth đối với một khái niệm cũ kỹ có từ hơn sáu thập kỷ, mà chính người phát minh ra nó đã chối bỏ và ném vào quên lãng. Tại sao lại phục dựng một ý tưởng không có chỗ để tồn tại, do vũ trụ đâu có phải là tĩnh? Sở dĩ như vậy là bởi vì có hai sự khác biệt lớn giữa hằng số vũ trụ do Einstein tưởng tượng ra và trường năng lượng nguyên thủy bị chặn lại theo ý tưởng của Guth. Thứ nhất, trong kịch bản của Guth, trường Higgs không bị chặn vĩnh viễn trong trạng thái giả chân không. Các thăng giáng lượng tử sẽ nhanh chóng đưa nó rời khỏi mặt đỡ (sau một thời gian vô cùng bé khoảng 10^{-32} giây) và đẩy nó tới trạng thái chân không thực. Điều này có nghĩa là lực đẩy tạo bởi trường năng lượng không phải là không đổi, mà biến thiên rất nhanh theo thời gian, ngược lại, hằng số vũ trụ, đúng như tên của nó, không thay đổi theo thời gian. Trường năng lượng nguyên thủy bị chặn tác động giống như một hằng số vũ trụ, nhưng chỉ trong thời gian cực ngắn. Sự khác biệt lớn thứ hai liên quan đến cường độ của áp lực âm, và do đó liên quan tới lực phản hấp dẫn gắn với trường Higgs bị chặn. Lực này lớn hơn so với lực gắn kết với hằng số vũ trụ của Einstein. Chỉ cần một lực đẩy tương đối yếu là có thể cân bằng được với lực hấp dẫn gây ra bởi tất cả các thành phần vật chất và năng lượng của vũ trụ (một thành phần khác của vũ trụ là ánh sáng, cũng là một dạng năng lượng). Nhưng điều này không đúng đối với lực tạo bởi giả chân không. Thật kinh ngạc, Guth đã tính được lực đẩy phát sinh từ trường Higgs bị chặn là lớn

hơn khoảng 10^{100} lần lực mà Einstein cần để xây dựng mô hình vũ trụ tĩnh của ông!

Sự kết hợp hai tính chất này của trường năng lượng nguyên thủy bị chặn trong một trạng thái giả chân không (với thời gian rất ngắn ngủi và cường độ rất lớn) không tránh khỏi sẽ dẫn đến một kịch bản gây sửng sốt nhất đối với sự khởi đầu của vũ trụ: trong một phần cực nhỏ của giây, từ 10^{-34} đến 10^{-32} giây sau Big Bang, bị đẩy bởi một lực phản hấp dẫn với cường độ lớn không thể tưởng tượng nổi, vũ trụ đã trải qua sự giãn nở chóng mặt và làm cho kích thước của nó tăng gấp đôi mỗi 10^{-34} giây. Sự giãn nở theo hàm số mũ này làm cho vũ trụ tăng về kích thước từ mười triệu tỷ tỷ lần nhỏ hơn một nguyên tử tới kích thước của một quả bóng, tương ứng với hệ số tăng trưởng là 10^{30}, mà chỉ trong một khoảng thời gian vô cùng bé là 10^{-32} giây. Trong quá trình giãn nở nhanh đến đứt hơi này[1], tốc độ giãn nở của không gian còn nhanh hơn cả ánh sáng, điều này có vẻ mâu thuẫn với khẳng định của thuyết tương đối cho rằng không gì có thể nhanh hơn ánh sáng. Nhưng thuyết tương đối khẳng định rằng không có gì có thể di chuyển *qua không gian* nhanh hơn ánh sáng. Mà trong một vũ trụ đang giãn nở, thì chính không gian cũng đang chuyển động, và không có gì ngăn cản chuyển động giãn nở này nhanh hơn ánh sáng.

---

[1] Hệ số tăng trưởng của vũ trụ còn có thể lớn hơn nữa, 10^{100} hay nhiều hơn, tùy theo dạng toán học chính xác của trường Higgs.

Lấy cảm hứng từ thuật ngữ sử dụng trong kinh tế để chỉ sự leo thang kinh hoàng của giá cả trong một khoảng thời gian giới hạn, Guth gọi giai đoạn giãn nở rất ngắn theo hàm mũ này ở giai đoạn đầu của vũ trụ là "lạm phát". Liệu thời điểm sáng tạo vũ trụ có thể được đồng nhất với thời kỳ lạm phát này chăng? Câu trả lời là không. Trong lý thuyết Big Bang chuẩn, chúng ta giả sử rằng vũ trụ đã được tạo ra tại thời điểm zero. Nhưng thời điểm zero này, như chúng ta đã thấy, hiện tại là không thể tiếp cận được vì bức tường Planck ngăn cản chúng ta đi tới tận gốc. Thực tế, thời kỳ lạm phát chỉ diễn ra trong một phần nhỏ của một giây (10^{-34} giây) sau thời điểm zero, trong một vũ trụ đã được tạo ra, đồng thời thời gian và không gian đã có mặt. Vì vậy, nếu chúng ta muốn coi vụ "bang" của Big Bang là sự bùng nổ không gian trong thời kỳ lạm phát, chúng ta phải thừa nhận rằng vụ "bang" này không xảy ra vào thời điểm zero, mà vào một thời gian vô cùng ngắn sau đó.

Ý tưởng về một áp lực âm đẩy vũ trụ vào sự giãn nở theo hàm mũ là quá trái ngược với trực giác hằng ngày của chúng ta, tới mức nó có vẻ như là ma thuật. Đặc biệt là câu hỏi được đặt ra một cách cấp bách: nếu giả chân không là nguồn gốc của năng lượng tuyệt vời chịu trách nhiệm cho sự lạm phát, mà trong một phần nhỏ của giây đã biến đổi chân không hạ nguyên tử thành vũ trụ có kích thước của một quả bóng đá, và sau đó tiến hóa thành một vũ trụ quan sát được có bán kính hàng chục tỷ năm ánh sáng, chứa hàng trăm tỷ thiên hà, mỗi thiên hà chứa hàng trăm tỷ sao, vậy thì làm thế nào để mật độ năng lượng của không gian có thể là bất biến (giả định rằng

ý tưởng về hằng số vũ trụ theo gợi ý của Einstein là chính xác), bất chấp sự giãn nở chóng mặt này trong khoảng từ 10^{-34} tới 10^{-32} giây? Để duy trì một mật độ năng lượng không đổi trong không gian có thể tích tăng theo hàm mũ, thì tổng năng lượng của vũ trụ cũng phải tăng theo hàm mũ như một hàm của thời gian. Vậy năng lượng này đến từ đâu? Định luật bảo toàn năng lượng mà theo đó toàn bộ năng lượng của một hệ cô lập không được thay đổi theo thời gian, một trong những định luật chí thánh của vật lý, liệu có bị vi phạm không? Câu trả lời chắc chắn là không bởi vì áp lực do trường năng lượng nguyên thủy gây ra không phải là dương mà là âm. Trong cuộc sống hằng ngày, áp lực này là dương. Do đó, khi chúng ta thổi vào một quả bóng để làm nó phồng lên, không khí sẽ tạo ra áp lực dương trên thành của quả bóng. Bằng cách thực hiện một "công" trên quả bóng, không khí sẽ mất năng lượng và nguội đi. Nhưng trong trường hợp của vũ trụ, điều ngược lại đã xảy ra. Áp lực do trường năng lượng có mặt khắp không gian tạo ra là âm, đó là do vũ trụ thực hiện một "công" trên không gian, chứ không phải là ngược lại. Khi làm như vậy, chuyển động giãn nở của nó sẽ bơm năng lượng vào không gian, thay vì lấy đi như trong trường hợp của quả bóng. Năng lượng được cung cấp bởi áp lực âm này làm cho mật độ năng lượng của không gian không đổi trong quá trình giãn nở của vũ trụ.

Như vậy, kịch bản lạm phát của Guth đã cung cấp một cách giải thích hợp lý cho vụ "bang" của Big Bang, khi thừa nhận rằng vụ "bang" này xảy ra ở một phần vô cùng bé của một giây sau sự ra đời của vũ trụ. Nhưng đây không phải là

ưu điểm duy nhất của lý thuyết này: nó còn xóa tan một số đám mây đen che phủ quang cảnh của Big Bang và đe dọa gây rối loạn bầu trời bình lặng của vũ trụ học. Thực tế, trước khi lý thuyết về lạm phát ra đời, đã từng có nhiều vấn đề về vũ trụ học gây ra sự nghi ngờ về tính đúng đắn của lý thuyết Big Bang và làm lu mờ sự rực rỡ của nó.

Lạm phát và tính đồng nhất của vũ trụ

Vấn đề đầu tiên liên quan đến một tính chất đặc biệt của vũ trụ: đó là sự cực kỳ đồng nhất (tức các thuộc tính của nó đều giống nhau ở mọi nơi) và đẳng hướng (tức như nhau theo bất kỳ hướng nào). Thực tế, các tính chất của vũ trụ ở thang rất lớn, đặc biệt là nhiệt độ, đều như nhau ở bất cứ nơi nào bạn nhìn tới, dù nhìn lên trên hay xuống dưới, trước hay sau, phải hay trái. Chúng ta biết được điều này là nhờ nghiên cứu bức xạ nền (còn gọi là bức xạ hóa thạch) có mặt khắp vũ trụ[1]. Bức xạ này bao gồm các photon (hạt ánh sáng) đến từ thời điểm vũ trụ mới chỉ 380.000 tuổi. Trước năm 380.000, vũ trụ chứa đầy một loại súp các hạt cơ bản (proton, neutron, electron, neutrino, photon và các phản hạt của chúng). Các nguyên tử lúc này còn chưa tồn tại. Các electron còn tự do và cản trở sự di chuyển tự do của các photon. Do ánh sáng không thể xuyên qua cánh rừng rậm các electron, vũ trụ không trong

---

[1] Bức xạ nền được phát hiện bởi hai nhà thiên văn vô tuyến Arno A. Penzias (1933) và Robert W. Wilson (1936) vào năm 1964.

suốt, như thể bị chìm trong màn sương mù dày đặc. Chỉ vào năm 380.000, vũ trụ mới đủ nguội (nhiệt độ giảm xuống 3.000 Kelvin, cỡ một nửa nhiệt độ ở bề mặt Mặt Trời) cho phép các nguyên tử được tạo thành. Ngay lúc đó, các electron bị cầm tù trong nguyên tử không còn ngăn chặn các photon được nữa, ánh sáng có thể lưu thông tự do và vũ trụ trở nên trong suốt. Ánh sáng được tách rời khỏi vật chất và đến với chúng ta ngày nay dưới dạng một bức xạ nền có mặt trong khắp vũ trụ. Quan sát bức xạ nền này cho chúng ta hình ảnh của vũ trụ xa xưa nhất theo thời gian có thể nhận được từ kính thiên văn, vì trước năm 380.000 ánh sáng không thể lan truyền, nên không thể có hình ảnh của nó được. Sau khi vật chất và ánh sáng tách rời nhau, vũ trụ tiếp tục giãn nở, nguội đi và loãng ra[1].

Nhưng các quan sát bức xạ này phát lộ một thực tế kỳ lạ: nhiệt độ của nó vô cùng đồng nhất, không chênh nhau nhiều hơn 0,001% ở bất cứ đâu, theo bất kể hướng nào mà ta quan sát. Sự đồng nhất tuyệt vời này đặt ra một vấn đề vì nó ngụ ý rằng, trong quá khứ, tất cả các vùng trên bầu trời phải tiếp xúc với nhau để ảnh hưởng lẫn nhau và điều phối nhiệt độ của chúng. Mà ở một thời điểm nhất định, đối với mỗi vùng của vũ trụ, tồn tại một mặt cầu-chân trời mà bên ngoài đó, mọi liên lạc bằng ánh sáng, phương tiện truyền thông nhanh nhất trong vũ trụ, trở nên bất khả. Ta không thể quan sát vượt ra ngoài chân trời đó, cũng giống như tầm nhìn của thủy thủ

---

[1] Vào thời điểm hiện tại, 13,8 tỷ năm sau Big Bang, bức xạ nền đã nguội đến nhiệt độ 2,7 K, hay -270,3 độ Celsius.

bị hạn chế bởi đường chân trời trên đại dương[1]. Vào năm 380.000, thời điểm sinh ra bức xạ nền, chỉ có các vùng tách xa nhau dưới 380.000 năm ánh sáng mới có thể tiếp xúc và đồng nhất nhiệt độ của chúng. Nhưng – và đây chính là vấn đề – vào thời điểm đó đã tồn tại các vùng của vũ trụ tách xa nhau những khoảng cách lớn hơn nhiều, do đó chúng không thể giao tiếp với nhau bằng ánh sáng được, thế mà nhiệt độ của chúng không khác nhau một ly!

Trước khi thuyết lạm phát ra đời, người ta không giải thích được sự đồng nhất kỳ diệu này. Các nhà vật lý thiên văn gán nó cho các điều kiện ban đầu của vũ trụ: nếu nó đồng nhất đến như thế, thì đó là do nó vốn được sinh ra như vậy. Một cách giải thích mà không giải thích gì. Lý thuyết mới mang lại một giải pháp quá mức mong đợi. Chúng ta thấy vũ trụ giãn nở với hệ số 10^{30} trong giai đoạn lạm phát, và có kích thước khoảng mười centimet vào cuối giai đoạn này, khi đồng hồ vũ trụ điểm 10^{-32} giây. Điều này nghĩa là trong giai đoạn đầu của lạm phát lúc 10^{-34} giây, vũ trụ có bán kính 10^{-29} cm trong khi mặt cầu-chân trời vào thời điểm này có bán kính 3×10^{-24} cm (bằng tích 10^{-34} giây với tốc độ ánh sáng 3×10^{10} cm/s), tức là

---

[1] Trong một vũ trụ tĩnh, bán kính của mặt cầu-chân trời chỉ đơn giản bằng tích của tốc độ ánh sáng với thời gian cần thiết để ánh sáng di chuyển, nghĩa là tuổi của vũ trụ tại thời điểm đó. Nhưng trên thực tế, vì sự giãn nở của vũ trụ, bán kính của mặt cầu-chân trời (hay của vũ trụ quan sát được) là lớn hơn. Do đó, mặc dù tuổi của vũ trụ hiện nay là 13,8 tỷ năm, nhưng bán kính của vũ trụ quan sát được không phải là 13,8 tỷ năm ánh sáng, mà là 47 tỷ.

lớn hơn gấp ba trăm nghìn lần. Sự liên lạc giữa các vùng khác nhau bằng ánh sáng và phối hợp các tính chất của chúng tại thời điểm đó không có vấn đề gì. Vào cuối giai đoạn lạm phát, lúc 10^{-32} giây, vũ trụ đã giãn nở tới mức các vùng khác nhau của nó không còn liên lạc được với nhau nữa (bán kính của mặt cầu-chân trời là 3×10^{-22} cm, ba mươi ngàn tỷ tỷ lần nhỏ hơn kích thước của vũ trụ 10 cm), nhưng trước đây chúng đã liên lạc với nhau và vẫn còn ghi nhớ. Nói cách khác, lý thuyết lạm phát cho chúng ta biết rằng, do vũ trụ bắt đầu từ một trạng thái vô cùng nhỏ bé đến mức tất cả các phần của nó đã từng tiếp xúc với nhau trong quá khứ, và khi đó chúng đã có thể điều chỉnh để có cùng các thuộc tính.

Lạm phát và sự bằng phẳng của vũ trụ

Vấn đề thứ hai làm u ám quang cảnh của Big Bang liên quan đến hình học của vũ trụ, nói cách khác là độ cong của không gian. Thuyết tương đối rộng cho chúng ta biết độ cong của không gian một vũ trụ đồng nhất và đẳng hướng được xác định bởi vật chất và năng lượng chứa trong nó. Lý thuyết này dạy chúng ta rằng, để có độ cong dương như bề mặt hình cầu, chỉ cần về trung bình vũ trụ chứa nhiều hơn mật độ tới hạn của vật chất và năng lượng, tương đương với năm nguyên tử hydrogen trên mét khối (ví dụ này không hoàn toàn chính xác vì bề mặt của hình cầu là hai chiều trong khi không gian có ba chiều, nhưng nó cho phép trực giác chúng ta hình dung được); nếu trong một vũ trụ như thế, được gọi là "vũ trụ đóng",

bạn thắp sáng ban đêm bằng một chiếc đèn điện có công suất vô hạn, bạn sẽ thấy chùm ánh sáng quay trở lại từ phía sau, sau khi đã hoàn thành một vòng chu du quanh vũ trụ. Ngược lại, nếu vũ trụ chứa ít hơn mật độ tới hạn (tương đương với năm nguyên tử hydrốgen trên mét khối), nó sẽ có độ cong âm giống như bề mặt một chiếc yên ngựa; trong vũ trụ được gọi là "mở" này, chùm sáng của bạn sẽ mất hút vào vô tận. Trong trường hợp trung gian, nơi mật độ vũ trụ chính xác bằng mật độ tới hạn, thì vũ trụ có độ cong bằng 0, giống như bề mặt của một cái bảng; trong vũ trụ được gọi là "phẳng" này, chùm sáng của bạn cũng sẽ mất hút ở vô tận.

Các quan sát này nói với chúng ta điều gì? Hãy quay lại những điều chúng ta đã học được từ bản liệt kê các thành phần của vũ trụ. Một nhiệm vụ không hề dễ dàng bởi vì một phần rất lớn các thành phần đó không phát ra bất cứ ánh sáng nào, mà không có ánh sáng, các nhà thiên văn học thực sự như là sống trong bóng tối! Nhờ các kỹ thuật khéo léo và những nỗ lực phi thường, họ đã có thể liệt kê các thành phần của vũ trụ như sau. Toàn bộ vật chất sáng chứa trong hàng trăm tỷ thiên hà của vũ trụ quan sát được, trong đó mỗi thiên hà lại chứa hàng trăm tỷ ngôi sao, nhưng chỉ chiếm 0,5% mật độ tới hạn. Ngoài vật chất sáng, các nhà thiên văn cũng đã phát hiện ra rằng có một số lượng lớn vật chất tối không phát ra ánh sáng khả kiến và do đó hoàn toàn thoát khỏi đôi mắt của chúng ta. Số vật chất này thể hiện sự hiện diện của nó không phải qua ánh sáng, mà qua trường hấp dẫn mà nó tạo ra. Chính lực hấp dẫn của vật chất tối đã ngăn các thiên hà và các đám

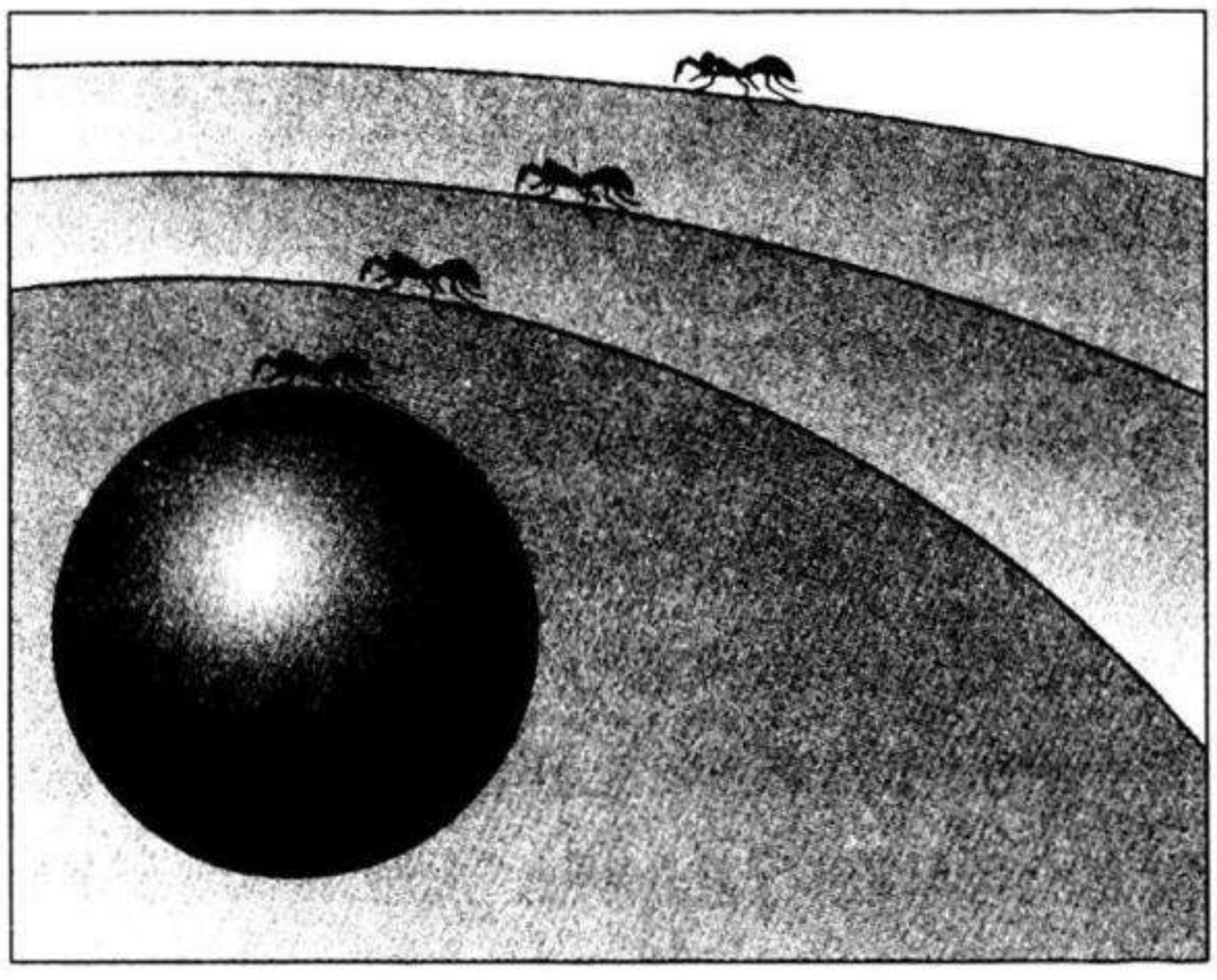
thiên hà tan rã. Thực tế, các nhà thiên văn đã phát hiện ra rằng chuyển động của các ngôi sao và khí trong các thiên hà, và những thiên hà trong đám thiên hà, là quá lớn, nên nếu chỉ có lực hấp dẫn của vật chất sáng thôi thì khó lòng giữ được chúng. Vì vậy, cần có thêm lực hấp dẫn hỗ trợ từ một thứ vật chất tối huyền bí. Người ta đã xác định được rằng để ngăn chặn các thiên hà và đám thiên hà tan rã, vật chất tối này phải đóng góp khoảng 31,5% vào mật độ tới hạn của vũ trụ. Trong 31,5% này, chúng ta biết rằng 4,5% được tạo thành từ cái gọi là vật chất tối "bình thường", tức là vật chất cũng được tạo từ proton, neutron và electron, giống như đóa hoa hồng, gấu trúc và bản thân chúng ta, 27% còn lại là vật chất tối "ngoại lai", mà bản chất của chúng hiện vẫn hoàn toàn chưa biết. Một số nhà vật lý tin rằng vật chất tối ngoại lai này gồm các hạt rất nặng, hầu như không tương tác với vật chất tối bình thường, và chúng được sinh ra ở những phần đầu tiên của một giây sau Big Bang. Chúng được gọi chung là WIMP (viết tắt của *weakly interacting massive particles*: các hạt nặng tương tác yếu), và mang những cái tên thật thơ mộng như: neutralino, photino, zino hay higgsino. Mặc dù bị truy tìm gắt gao, các hạt nặng này vẫn chưa bao giờ được nhìn thấy. Hy vọng được đặt vào máy LHC tại CERN, với mong muốn có thể tái tạo được năng lượng cực lớn của vũ trụ ở một phần ngàn tỷ (10^{-12}) giây sau vụ nổ lớn và do đó khả dĩ tìm ra các hạt cực kỳ nặng này. Có thể trong những năm tới, các hạt vật chất tối ngoại lai cuối cùng cũng sẽ chiếu cố xuất hiện trong lòng của cái máy gia tốc rất mạnh này.

Vào đầu những năm 1980, người ta nghĩ rằng tổng các thành phần của vũ trụ là khoảng một phần ba mật độ tới hạn (0,5% vật chất ánh sáng và 31,5% vật chất tối bình thường và ngoại lai với tổng là 32%). Trong trường hợp này, vũ trụ sẽ là mở: nó có độ cong âm và vĩnh viễn giãn nở. Tuy nhiên, một thực tế đã kích thích trí tò mò của các nhà vật lý thiên văn: chỉ cần vũ trụ chứa gấp ba lần lượng vật chất trên thì nó sẽ có mật độ chính xác bằng mật độ tới hạn và hình học của nó là phẳng. Và chính cái hệ số 3 này rất đáng kinh ngạc: nó không phải là quá nhỏ và cũng không quá lớn, mà gần bằng 1. Vũ trụ rất có thể có mật độ vật chất lớn hơn hoặc nhỏ hơn hàng tỷ lần mật độ tới hạn, như các phương trình của thuyết tương đối rộng nói với chúng ta: rằng mật độ ban đầu của vũ trụ chỉ cần khác một chút so với mật độ tới hạn, thì sự khác biệt sẽ được khuếch đại lên theo những tỷ lệ khổng lồ do sự giãn nở của vũ trụ. Hãy lấy một ví dụ. Nếu, một giây sau Vụ nổ lớn, mật độ của vũ trụ ít hơn mật độ tới hạn chỉ 0,01% (nghĩa là, nếu giá trị của nó là 99,99% mật độ tới hạn), các phép tính cho thấy ngày hôm nay, tức 13,8 tỷ năm sau đó, nó chỉ có giá trị bằng một phần trăm tỷ (10^{-11}) mật độ tới hạn. Trái lại, nếu ban đầu mật độ của nó cao hơn một chút so với mật độ tới hạn, thì hiện tại nó sẽ lớn gấp hàng tỷ lần so với mật độ tới hạn. Chỉ khi mật độ ban đầu của vũ trụ chính xác bằng mật độ tới hạn thì nó mới được duy trì trong suốt quá trình giãn nở của vũ trụ, hai mật độ này giảm đi theo cùng một tỷ lệ. Một vũ trụ không hoàn toàn phẳng ngay từ đầu sẽ càng trở nên ít phẳng hơn khi thời gian trôi qua. Sự cân bằng này cực kỳ tinh tế,

tương tự như người làm xiếc đi trên dây: anh ta sẽ bị ngã nếu cơ thể chỉ cần lệch một chút sang bên này hay bên kia. Vũ trụ chỉ cần thiếu hay thừa vật chất (và năng lượng) một chút so với mật độ tới hạn, thì nó phải có độ cong dương hoặc âm chứ không thể là phẳng được. Tuy nhiên, những quan sát vào đầu những năm 1980 cho chúng ta biết rằng vũ trụ gần như bằng phẳng, có nghĩa là mật độ ban đầu của vũ trụ phải rất chính xác bằng mật độ tới hạn.

Vậy làm thế nào giải thích được sự điều chỉnh một cách cực kỳ chính xác như thế? Một lần nữa, lý thuyết Big Bang chuẩn lại không đưa ra được giải thích hợp lý nào. Và lại một lần nữa, các nhà vật lý thiên văn phải viện tới các điều kiện ban đầu: vũ trụ vốn là như vậy bởi vì các nàng tiên đã ban cho nó như thế ngay từ lúc lọt lòng. Một giải thích không thỏa đáng chút nào. Như trước đây, lý thuyết lạm phát sẽ xua tan đám mây đen của hình học vũ trụ. Để hiểu làm thế nào, chúng ta hãy lấy lại hình ảnh quả bóng. Nếu chúng ta thổi phồng nó lên, bán kính của nó sẽ tăng, bề mặt của nó cũng tăng lên và độ cong giảm xuống cho tới khi về 0 (hình trang sau). Thực vậy, một vật hình cầu càng lớn, càng khó để nhận ra độ cong của nó. Vì vậy, nếu như dễ dàng nhìn thấy độ cong của một quả bóng đá có bán kính khoảng 10 cm, thì rất khó để nhận ra độ cong của Trái Đất với bán kính hơn 6.000 km: trên phạm vi cục bộ nó có vẻ như là bằng phẳng. Tương tự, khi thổi kích thước của vũ trụ lên một hệ số 10^{30} (hoặc hơn), lạm phát sẽ làm cho độ cong của nó bằng 0, bất kể độ cong ban đầu như thế nào. Lạm phát nhất thiết sẽ phải dẫn đến một vũ trụ

phẳng, với mật độ vật chất và năng lượng chính xác bằng mật độ tới hạn.



Độ phẳng của bề mặt một quả bóng khi phồng lên. Khi quả bóng được thổi phồng, bề mặt của nó sẽ ngày càng trở nên phẳng hơn đối với một con kiến ở trên đó. Cũng như vậy, lạm phát, bằng cách tăng thể tích của vũ trụ một cách quá mức, sẽ làm cho hình học của vũ trụ trở nên phẳng.

Lạm phát làm tăng hạt giống của các thiên hà

Lý thuyết lạm phát dường như đã cung cấp một giải pháp bất ngờ cho vấn đề không gian phẳng của vũ trụ. Nhưng xem xét một cách kỹ lưỡng hơn thì, liệu tất cả mọi thứ đã hoàn toàn ổn chưa? Sau hết, lý thuyết này tuyên bố rằng vũ trụ phải rất phẳng, với độ cong chính xác bằng 0. Nói cách khác, mật độ của vũ trụ không phải là xấp xỉ mà chính xác bằng mật độ tới hạn. Thế nhưng những quan sát thời đó, như chúng ta đã thấy, chỉ ra rằng mật độ không chính xác bằng mật độ tới hạn,

mà chỉ bằng một phần ba! Vì vậy, độ cong của vũ trụ sẽ không chính xác bằng 0 như lý thuyết lạm phát muốn, mà sẽ hơi âm. Có một chút gì đó đáng nghi ngờ ở đây...

Do đó, chúng ta phải lựa chọn giữa hai khả năng: các quan sát cho thấy vũ trụ có độ cong hơi âm, nghĩa là không hoàn toàn bằng 0, hoặc lý thuyết lạm phát đòi hỏi một vũ trụ phẳng với độ cong chính xác bằng 0. Vậy cái nào là đúng đây? May mắn thay, tự nhiên đã cho chúng ta một cách để quyết định. Thực tế, chúng ta có thể trực tiếp đo độ cong của vũ trụ bằng cách sử dụng bức xạ nền, tức ánh sáng đến chúng ta từ thuở ban đầu, khi vũ trụ chỉ có 380.000 năm tuổi. Để hiểu được làm thế nào bức xạ xa xưa này có thể cho chúng ta biết về độ cong của vũ trụ, ta phải xem xét một vấn đề được coi là một loại đối trọng của tính cực kỳ đồng nhất của vũ trụ. Thay vì tự hỏi tại sao vũ trụ đồng nhất đến như thế, nhà vật lý thiên văn lại tự vấn rằng tại sao vũ trụ lại có nhiều cấu trúc và các bất thường.

Thật vậy, như chúng ta đã thấy, ngay cả khi bức xạ nền cực kỳ đồng nhất, thì nó cũng không phải là hoàn toàn đồng nhất. Những quan sát của các vệ tinh COBE, WMAP và Planck đã chỉ ra rằng nếu nhiệt độ toàn cục của bức xạ này chính xác là 2,725 Kelvin, thì vẫn có những thăng giáng nhỏ về nhiệt độ giữa các vùng khác nhau, cỡ vài phần trăm ngàn Kelvin (hình 9 trong tập ảnh màu). Những thăng giáng nhiệt độ này là kết quả của những thăng giáng mật độ của vật chất bình thường và ngoại lai. Ở những nơi có mật độ hơi đặc hơn, lực hấp dẫn sẽ tăng lên một chút, các photon của bức xạ nền mất nhiều năng lượng hơn một chút để thoát khỏi lực hấp dẫn, và nhiệt

độ sẽ thấp hơn một chút so với mức trung bình. Trái lại, tại những nơi có mật độ loãng hơn, lực hấp dẫn sẽ yếu hơn, các photon mất ít năng lượng hơn để thoát ra, và nhiệt độ cao hơn một chút. Những thăng giáng của mật độ vật chất sẽ xử sự giống như các hạt giống, mà nhờ vào sự chăm chút của người làm vườn-hấp dẫn, sẽ lớn dần theo thời gian (hấp dẫn hút thêm vật chất về các thăng giáng, làm chúng được khuếch đại) và gieo mầm các thiên hà, sao và hành tinh xinh đẹp, và ít nhất trên một trong số những hành tinh đó sẽ xuất hiện sự sống và ý thức. Một vũ trụ không có cấu trúc sẽ trống rỗng và cằn cỗi: hương thơm của hoa hồng, tiếng hót của chim muông và tiếng cười trẻ thơ sẽ hoàn toàn vắng bóng. Các nhà vật lý thiên văn đã rất vui mừng và thở phào nhẹ nhõm khi vệ tinh COBE (*Cosmic Background Explorer* – tàu thăm dò bức xạ nền vũ trụ), vào năm 1992, đã phát hiện ra sự hiện diện của các thăng giáng nhỏ của nhiệt độ bức xạ nền: nghĩa là các hạt giống thiên hà thực sự hiện diện!

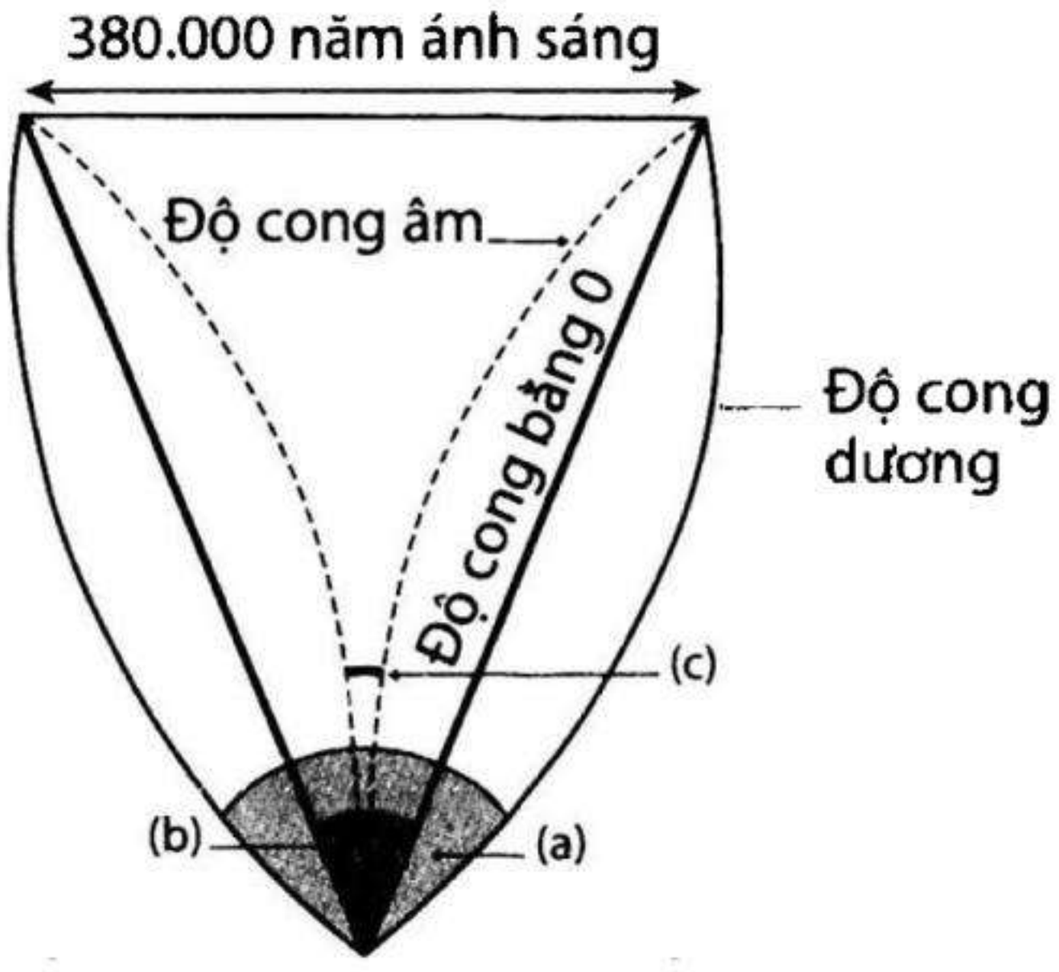
Một lần nữa, lạm phát lại đóng vai trò then chốt ở đây: phần lớn nhờ vào nó mà những thăng giáng của mật độ (và nhiệt độ) có thể tồn tại trong thế giới vĩ mô. Thực tế, những thăng giáng này được sinh ra trong thế giới vi mô. Nhớ lại rằng, do nguyên lý bất định, không gian không phải là trơ và mịn ở các thang cỡ chiều dài Planck (10^{-33} cm), mà chứa đầy các hạt ảo xuất hiện và biến mất theo các vòng sinh tử dữ dội 10^{-43} giây (thời gian Planck), tạo thành một loại bọt lượng tử thăng giáng không ngừng. Chính lạm phát, bằng cách thổi phồng không gian lên theo hệ số vô cùng lớn (10^{30} hoặc cao

hơn), sẽ khuếch đại những thăng giáng lượng tử với cùng một hệ số và làm cho chúng rời khỏi thế giới vi mô để bước vào thế giới vĩ mô đặng hoàn thành vai trò hạt giống của các thiên hà. Và các thiên hà chính là kết quả cuộc hôn phối của cái vô cùng bé với cái vô cùng lớn, và theo một nghĩa nào đó, chúng ta là hậu duệ của cuộc hôn nhân giữa sự mờ nhòe lượng tử và lạm phát.

Bất thường của bức xạ nền và độ cong của không gian

Các thăng giáng nhiệt độ của bức xạ nền sẽ cung cấp cho chúng ta một phương tiện để đo độ cong của vũ trụ. Thật vậy, như đã giải thích ở trên, chính sự kết tập của vật chất gây ra những thăng giáng này. Chúng sẽ càng lớn nếu vật chất tụ lại càng nhiều. Mà, vào năm 380.000, khi các photon của bức xạ nền bắt đầu được lưu thông tự do, các kết tập lớn nhất của vật chất được hình thành dưới tác động của lực hấp dẫn có kích thước cỡ 380.000 năm ánh sáng. Các cấu trúc lớn hơn không thể xuất hiện bởi các vùng nằm ở phía đối diện của các cấu trúc lớn này không có thời gian để giao tiếp thông qua ánh sáng và phối hợp các chuyển động co sập lại của chúng. Đối với một người quan sát ở mặt đất, một cấu trúc có kích thước khoảng 380.000 năm ánh sáng trương một góc khoảng một độ (hay gần bằng hai lần kích thước góc của Mặt Trăng khi tròn). Những giá trị chính xác của kích thước góc này phụ thuộc vào độ cong của vũ trụ. Thật vậy, như chúng ta đã đề

cập, thuyết tương đối rộng nói với chúng ta rằng quỹ đạo ánh sáng phụ thuộc vào độ cong của vũ trụ (độ cong này lại phụ thuộc vào các thành phần vật chất và năng lượng của nó). Trong một vũ trụ phẳng, với độ cong bằng 0, ánh sáng đi theo đường thẳng và kích thước góc của các cấu trúc vật chất lớn nhất vào năm 380.000 là một độ. Mặt khác, trong một vũ trụ đóng có độ cong dương, các quỹ đạo ánh sáng bị uốn cong sao cho kích thước góc của những thăng giáng lớn nhất trong bức xạ nền lớn hơn một độ. Ngược lại, trong một vũ trụ mở với độ cong âm, các quỹ đạo ánh sáng bị cong sao cho kích thước góc nhỏ hơn một độ (hình dưới). Điều này có nghĩa là chỉ cần đo kích thước góc của những thăng giáng nhiệt độ lớn nhất trong bức xạ nền là có thể suy ra độ cong của vũ trụ. Phán quyết của



Kích thước góc của các cấu trúc lớn nhất trong bức xạ nền là cỡ một độ (góc *b*), nghĩa là độ cong của vũ trụ bằng 0. Góc này sẽ lớn hơn (góc *a*) nếu độ cong là dương, hoặc nhỏ hơn (góc *c*) nếu độ cong là âm.

các quan sát bức xạ nền là không thể chối cãi: kích thước của các thăng giáng lớn nhất quan sát được là cỡ một độ; độ cong của vũ trụ bằng 0 và vũ trụ là phẳng.

Đó chính là cách mà các quan sát bức xạ nền đã cung cấp một sự hỗ trợ bất ngờ cho lý thuyết lạm phát. Và nó đã vượt qua bài kiểm tra về tính phẳng của vũ trụ một cách toàn thắng.

Vũ trụ đang tăng tốc

Nhưng nếu vũ trụ là phẳng, mật độ khối lượng và năng lượng của nó phải chính xác bằng 5 nguyên tử/mét khối. Nhưng – và đây chính là vấn đề – bản kiểm kê vật chất sáng và tối, thông thường và ngoại lai, vào đầu những năm 1980 khi kịch bản lạm phát bước ra sân khấu, thì chỉ đưa ra được khoảng một phần ba mật độ tới hạn mà ta đã nói ở trên. Vậy hai phần ba còn lại trốn ở đâu? Các nhà vật lý thiên văn không hề có mảy may ý niệm gì về nó, và dường như có điều gì đó bất ổn đối với lý thuyết lạm phát: bất chấp khả năng cung cấp các giải pháp cho nhiều vấn đề của lý thuyết Big Bang chuẩn, một điều không thể phủ nhận, nhưng vấn đề mật độ của vũ trụ vẫn như một cái gai găm ở chân, rất khó chịu. Cho đến năm 1998, một khám phá phi thường đã mang lại mảnh ghép còn thiếu của câu đố ghép hình: đó là sự tăng tốc của vũ trụ.

Edwin Hubble đã chứng minh vào năm 1929 rằng vũ trụ đang giãn nở. Vì vũ trụ chứa vật chất, và vật chất này tạo ra lực hấp dẫn hút (các thiên hà hút lẫn nhau) đối nghịch với

lực đẩy do vụ nổ nguyên thủy tạo ra (chúng ta hãy nhớ lại rằng trường Higgs bị mắc kẹt trong một giả chân không được cho là gây ra lực đẩy này), nên ta dễ nghĩ rằng chuyển động giãn nở này sẽ phải chậm lại theo thời gian. Nói cách khác, vũ trụ phải giảm tốc độ. Vào những năm 1990, hai nhóm nhà thiên văn quốc tế[1], hoạt động độc lập, đã tiến hành đo sự chuyển động chậm lại này. Họ đã làm thế nào? Để hiểu được phương pháp của họ, giả sử rằng chúng ta muốn đo sự giảm tốc của xe hơi khi nhấn phanh dừng lại trước đèn đỏ. Tất cả những gì chúng ta cần làm là ghi lại tốc độ (v) của xe khi chúng ta bắt đầu nhấn phanh và khoảng thời gian xe dừng lại hoàn toàn (tốc độ bằng 0): sự giảm tốc của xe chỉ đơn giản bằng độ biến thiên của tốc độ (v - 0 = v) chia cho khoảng thời gian. Tương tự, để đo sự giảm tốc của vũ trụ, chỉ cần đo tốc độ giãn nở của nó ở hai giai đoạn khác nhau của lịch sử và chia độ biến thiên tốc độ giãn nở này cho khoảng thời gian tương ứng. Nhưng để phát hiện những biến thiên tốc độ như vậy, cần phải có khoảng thời gian kéo dài hàng tỷ năm. Nói cách khác, chúng ta phải so sánh tốc độ giãn nở của vũ trụ ngày nay với tốc độ trong quá khứ xa xôi của nó. Nhưng làm thế nào để quan sát được vũ trụ trong quá khứ? Phải nhờ vào ánh sáng: việc ánh sáng không lan truyền tức

---

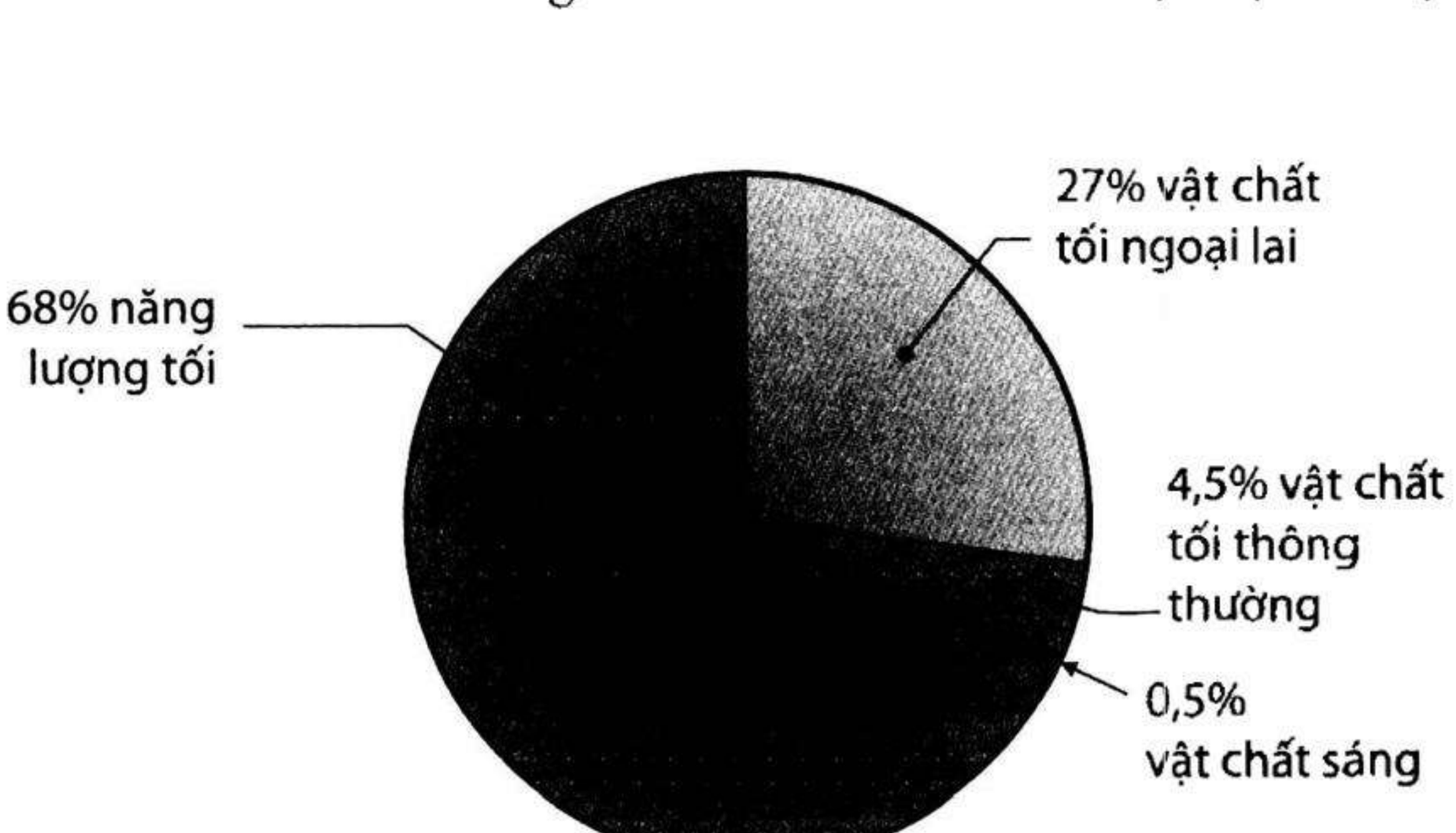
[1] Một nhóm được dẫn dắt bởi nhà thiên văn Mỹ Saul Perlmutter (1959), và nhóm kia bởi nhà thiên văn người Anh Brian P. Schmidt (1967) và người Mỹ Adam Riess (1969). Cả ba đều được trao giải Nobel Vật lý vào năm 2011 vì đã khám phá ra sự gia tốc của vũ trụ.

thì cho phép chúng ta quay ngược trở lại thời gian. Mặc dù ánh sáng có tốc độ cao nhất có thể (300.000 km/s), nhưng ở thang vũ trụ thì nó di chuyển chậm chạp chẳng khác gì rùa bò. Nghĩa là ánh sáng phải mất một thời gian dài để tới được chúng ta, vì vậy, khi quan sát vũ trụ, chúng ta luôn có một độ trễ nhất định. Ánh sáng mang đến cho chúng ta tin tức ở quá khứ: có thể nói rằng càng nhìn xa, chúng ta càng nhìn thấy sớm. Kính thiên văn chính là cỗ máy thời gian thực sự. Để lần ngược trở lại sự thay đổi của tốc độ giãn nở của vũ trụ ở những thời điểm khác nhau trong lịch sử, chúng ta chỉ cần đo tốc độ chạy trốn ra xa của các vật mốc phân bố trong vũ trụ, nằm ở các khoảng cách khác nhau từ Trái Đất.

Hai nhóm các nhà thiên văn đã sử dụng vật mốc vũ trụ là các đối tượng được gọi là "siêu tân tinh loại Ia" – vụ nổ kinh hoàng của các sao lùn trắng (xác chết sao) bị phá hủy bởi các vụ nổ nhiệt hạch cực lớn, lúc đỉnh điểm phát sáng với năng lượng mỗi giây tương đương với mười tỷ Mặt Trời hợp lại (hình 10 trong tập ảnh màu). Độ sáng chói lòa này cho phép các nhà thiên văn có thể phát hiện ở những khoảng cách lớn và cho phép lần lại sự tiến hóa của tốc độ giãn nở ở những thời kỳ rất xa trong lịch sử vũ trụ. Những gì cả hai nhóm đã phát hiện làm cho tất cả mọi người (hoặc hầu hết) thật sự kinh ngạc: sự giãn nở của vũ trụ hiện nay thay vì giảm tốc như mong đợi, thì lại tăng tốc! Cứ như thể, thay vì nhấn phanh, bạn đã vô tình dẫm lên chân ga vậy... Trong thực tế, quan sát các vật mốc cho thấy rằng vũ trụ đúng là đã trải qua một giai đoạn giảm tốc nhưng chỉ trong nửa đầu thời gian tồn tại

của nó, trong bảy tỷ năm đầu tiên. Tuy nhiên, từ tám tỷ năm trước, nó đã bắt đầu tăng tốc, sự tăng tốc này vẫn tiếp tục đến ngày hôm nay, tức 13,8 tỷ năm sau Big Bang.

Sự gia tốc của vũ trụ ngụ ý rằng trong thế giới hiện nay tồn tại một lực phản hấp dẫn có cường độ vượt quá lực hấp dẫn tạo bởi vật chất và năng lượng của vũ trụ. Do thiếu thông tin, các nhà vật lý đành gọi lực đẩy này là "năng lượng tối" – sở dĩ gọi là "năng lượng" là bởi vì nó không cấu thành từ vật chất, và "tối" bởi vì giống như vật chất tối ngoại lai, hiện chúng ta hoàn toàn không biết gì về bản chất của nó. Vậy đóng góp toàn phần của năng lượng tối này vào khối lượng và năng lượng của vũ trụ là bao nhiêu? Hai nhóm các nhà nghiên cứu nói trên đã chỉ ra rằng nó chiếm cỡ... 68% mật độ tới hạn,



Hầu như toàn bộ vũ trụ vẫn còn là bí ẩn đối với chúng ta: chúng ta chỉ biết được bản chất của 5% thành phần của nó (0,5% vật chất sáng cộng với 4,5% vật chất tối thông thường). Bản chất của 95% còn lại (27% vật chất tối ngoại lai và 68% năng lượng tối) vẫn còn hoàn toàn là bí ẩn.

đúng bằng số lượng còn thiếu trong bản kiểm kê trước đó về các thành phần vũ trụ (0,5% vật chất sáng, 31,5% vật chất tối thông thường và ngoại lai) để vũ trụ có chính xác mật độ tới hạn và do đó có hình học là phẳng (hình)!

Xem ra mọi thứ đều tốt đẹp: khám phá ra sự gia tốc vũ trụ, đo được kích thước góc của các cấu trúc lớn nhất trong bức xạ nền và sự lạm phát của vũ trụ, tất thảy đều nhất trí nói rằng hình học của vũ trụ chúng ta là phẳng. Cứ như là có phép thần, những đám mây đen làm u ám bầu trời Big Bang đã bị xua tan.

Năng lượng của chân không

Hiện chúng ta có ý tưởng gì về bản chất của năng lượng tối bí ẩn này, thứ năng lượng tạo ra lực phản hấp dẫn làm cho vũ trụ tăng tốc chưa? Trong những chuyến lang thang trong vũ trụ học, chúng ta đã từng có hai cơ hội gặp lực đẩy: một lần vào năm 1917, khi Einstein đưa vào hằng số vũ trụ để xây dựng mô hình vũ trụ tĩnh, và lần thứ hai là vào đầu những năm 1980, khi Alan Guth đề xuất lý thuyết lạm phát và giả chân không. Liệu lực phản hấp dẫn đang hoạt động trong vũ trụ hiện tại có phải là kết quả của hằng số vũ trụ như Einstein tưởng tượng? Hay đó là một giả chân không do trường Higgs tạm thời bị chặn ở một giá trị lớn hơn giá trị nhỏ nhất, giống như giả chân không đã tạo ra lạm phát? Hay nó liên quan đến một hiện tượng hoàn toàn mới và chưa từng được biết đến? Cho đến thời điểm này không ai có thể trả lời dứt khoát những câu hỏi đó.

Dù là thế nào, thì có một điều chắc chắn là lực đẩy trong vũ trụ hiện tại phải lớn hơn nhiều so với lực liên quan tới hằng số vũ trụ của Einstein, bởi vì vũ trụ không tĩnh mà đang tăng tốc. Nó lại phải nhỏ hơn đáng kể so với lực đẩy trong giai đoạn lạm phát, bởi vì gia tốc của vũ trụ quan sát được tại thời điểm hiện tại nhỏ hơn nhiều so với gia tốc trong giai đoạn lạm phát. Trong giai đoạn lạm phát, tốc độ giãn nở của vũ trụ nhanh hơn ánh sáng, và kích thước của nó tăng lên như hàm số mũ theo thời gian với hệ số cỡ 10^{30} hoặc cao hơn. Trái lại, sau giai đoạn lạm phát, tốc độ giãn nở của vũ trụ đã trở nên nhỏ hơn tốc độ ánh sáng, và từ năm 380.000 vũ trụ chỉ lớn lên với hệ số khoảng 10^3.

Một thực tế khác dường như đã được xác nhận: dù lực phản hấp dẫn có dạng của hằng số vũ trụ hay một giả chân không của trường Higgs, thì sự tồn tại của nó phải phụ thuộc vào các tính chất của chân không. Như chúng ta đã thấy, ở thang cỡ chiều dài Planck (10^{-33}cm), chân không của không gian chứa đựng vô số hạt ảo, tạo nên năng lượng chân không (hay năng lượng của điểm zero) có thể gây áp lực âm. Liệu có thể ước tính được năng lượng chân không này nhờ các lý thuyết hiện có không? Xét cho cùng, một khi chúng ta đã tính được tác dụng của các hạt ảo lên các tấm kim loại (hiệu ứng Casimir), thì tại sao lại không thể làm tương tự với chân không của không gian? Về nguyên tắc, chỉ cần xác định tất cả các loại hạt ảo khả hữu – electron, positron, các quark và phản-quark, neutrino và phản-neutrino, và rất nhiều hạt khác – rồi sau đó tính tổng toàn bộ năng lượng của chúng là

xong! Biết rằng một số hạt ảo di chuyển chậm chạp, có ít năng lượng, và đóng góp không đáng kể vào tổng năng lượng, trong khi những hạt khác có chuyển động mạnh mẽ và đóng góp đáng kể vào tổng năng lượng.

Tính toán nhìn qua có vẻ đơn giản thế, nhưng khi các nhà vật lý bắt tay vào thực hiện, họ đã thu được một kết quả không có ý nghĩa: năng lượng của chân không thu được bằng cách này hóa ra lại là vô hạn! Trong khoa học, như chúng ta đã thấy, sự xuất hiện của một đại lượng vô hạn là một dấu hiệu chắc chắn cho biết rằng các định luật vật lý đã mất hiệu lực trong tình huống đang được xem xét. Nguyên nhân của kết quả vô hạn này không phải là khó nắm bắt. Nó xuất phát từ nguyên lý bất định Heisenberg. Theo nguyên lý này, hạt có năng lượng càng cao thì tuổi thọ càng ngắn; khoản vay từ ngân hàng Tự nhiên càng lớn, thời gian phải hoàn trả khoản vay càng ngắn. Do đó, về nguyên tắc, có thể tồn tại các hạt ảo có thời gian sống vô cùng ngắn và năng lượng vô hạn. Để tránh những đại lượng vô hạn này, sẽ là khôn ngoan khi loại bỏ tất cả các hạt có thời gian sống ít hơn thời gian Planck 10^{-43} giây. Như chúng ta đã thấy, vật lý học đã biết dừng lại đối với những khoảng thời gian ngắn hơn thời gian Planck. Chừng nào chúng ta còn chưa phát triển được một lý thuyết về hấp dẫn lượng tử, thì chúng ta sẽ không thể mô tả hành vi của các hạt có thời gian sống vô cùng ngắn và do đó năng lượng vô cùng lớn. Mặc dù máy gia tốc các hạt cơ bản lớn nhất trên thế giới, LHC tại CERN ở Geneva, có khả năng sinh ra năng lượng của vũ trụ lúc một phần ngàn tỷ giây sau

Big Bang, nhưng vẫn còn cách xa năng lượng tồn tại vào thời điểm Planck hàng vạn dặm[1].

Vậy là các nhà vật lý đã quyết định loại bỏ toàn bộ các hạt ảo có thời gian sống ngắn hơn thời gian Planck và do đó có năng lượng cực lớn khỏi danh sách. Quyết định này, dường như có tính đối phó ở thời điểm hiện nay, biết đâu một ngày nào đó rất có thể sẽ được xác nhận bởi một lý thuyết hấp dẫn lượng tử tương lai. Nói gì thì nói, việc tính toán năng lượng của chân không sau khi loại đi các hạt này liệu có mang lại một kết quả hữu hạn? Câu trả lời là có. Mặc dù vậy, không phải mọi thứ đều tốt đẹp hoàn toàn. Bởi vì năng lượng tính được vẫn cực kỳ lớn – chỉ với sự đóng góp của photon ảo, tổng năng lượng chân không đã cực kỳ lớn, bằng 10^{116} jun[2], hay gấp tỷ tỷ tỷ tỷ tỷ lần năng lượng của tất cả các ngôi sao trong vũ trụ quan sát được giải phóng trong toàn bộ cuộc đời của chúng cộng lại. Một năng lượng lớn đến mức lực đẩy sinh ra sẽ phá vỡ toàn bộ các cấu trúc của vũ trụ...

Vẫn chưa hết! Các photon ảo không phải là những hạt duy nhất đóng góp cho năng lượng của chân không, nên chúng ta cũng phải xét tới tất cả các hạt ảo khác. Một số sẽ cho đóng góp dương vào tổng năng lượng của chân không, trong khi

---

1 Người ta cũng nghĩ rằng ngay cả khi chúng ta có thể tạo ra năng lượng của thời điểm Planck (muốn vậy chúng ta phải xây dựng một máy gia tốc kéo dài tới ngôi sao gần nhất, cách ta 4,3 năm ánh sáng), sự va chạm của các hạt có năng lượng lớn như vậy sẽ biến chúng thành các lỗ đen.

2 Jun là một đơn vị năng lượng. Nó tương đương với năng lượng cần thiết để làm tăng nhiệt độ của 0,25 gram nước lên một độ Celsius.

một số khác cho đóng góp âm. Do đó việc ước lượng tổng năng lượng của chân không theo lý thuyết chuẩn, có tính đến tất cả các hạt ảo, cho ta một kết quả còn kỳ lạ hơn, và cực kỳ không phù hợp với năng lượng cần thiết để giải thích sự tăng tốc của vũ trụ! Thật vậy, năng lượng chân không tính toán được cao hơn gấp 10^{120} lần năng lượng đẩy cần thiết. Nói cách khác, nếu năng lượng đó có mặt trong vũ trụ, các thiên hà, sao, hành tinh và tất cả các cấu trúc khác trong kiến trúc vũ trụ sẽ tan rã, cuộc sống và ý thức sẽ không thể xuất hiện, vũ trụ sẽ trống rỗng và cằn cỗi...

SUSY và lý thuyết dây

Nhà vũ trụ học người Nga Yakov Zeldovich (1914-1987) (hình bên) là người đầu tiên đưa ra vấn đề năng lượng của chân không, nguồn gốc của sự bất đồng lớn chưa từng có giữa lý thuyết và quan sát vào năm 1967. Gần nửa thế kỷ sau, lời giải đáp vẫn chưa xuất hiện. Chúng ta hiện vẫn không biết tại sao các định luật của vật lý đã biết, tức là cơ học lượng tử cho những cái vô cùng bé và thuyết tương đối rộng cho những cái vô cùng lớn, lại cho chúng ta một ước lượng năng lượng của chân không, về bậc độ lớn, lớn hơn một trăm hai mươi lần so với giá trị quan sát thấy. Câu trả lời rất có thể nằm ở thực tế là chúng ta vẫn chưa thể thống nhất được

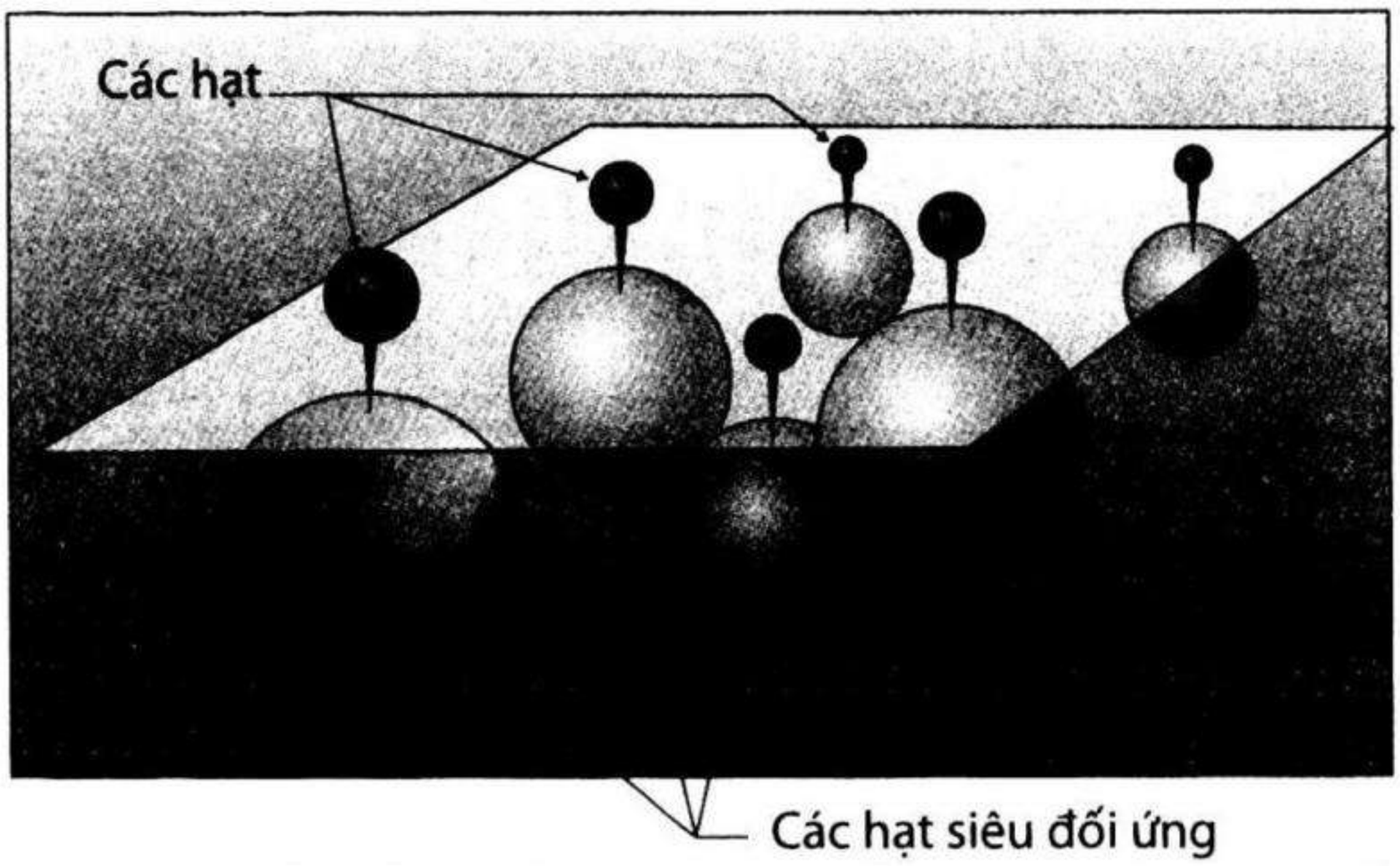
hai lý thuyết trụ cột này thành một lý thuyết duy nhất về hấp dẫn lượng tử, một Lý thuyết của vạn vật.

Bắt đầu từ những năm 1980, như chúng ta đã thấy, các nhà vật lý bắt đầu đầu tư rất nhiều hy vọng (và nỗ lực) vào cái gọi là "lý thuyết dây", theo đó các hạt cơ bản tạo nên thế giới vật chất không phải là các hạt điểm như những giả thuyết trước đây, mà là những biểu hiện khác nhau của dao động của các dây vô cùng nhỏ bé, cỡ độ dài Planck (10^{-33}cm). Nó có vẻ tương ứng với lý thuyết hấp dẫn lượng tử đang được ráo riết tìm kiếm bởi vì, như có phép thần, trong số nhiều *mode* dao động của các dây có xuất hiện *graviton*, một hạt giả thuyết, được cho là hạt truyền tương tác hấp dẫn.

Vậy lý thuyết dây đã nói gì với chúng ta về năng lượng của chân không? Theo nó, tổng số các hạt trong vũ trụ phải được nhân đôi. Thực tế, lý thuyết dây dựa trên ý tưởng về siêu đối xứng (viết tắt là SUSY: supersymmetry) được đưa ra vào những năm 1970 để thống nhất vật chất và ánh sáng. SUSY dựa trên nguyên lý đối xứng nhằm kết nối các hạt vật chất có spin bán nguyên (1/2, 3/2...), chẳng hạn electron và quark, gọi chung là các "fermion", và các hạt có spin nguyên (0, 1...) chẳng hạn photon và những hạt truyền lực khác như các hạt W và Z và các gluon, được biết với tên chung là các "boson". Trong một vũ trụ do SUSY chi phối, số các hạt cơ bản, cứ như nhờ cú vẩy của chiếc đũa thần, sẽ được nhân đôi, mỗi boson được liên kết với một fermion gọi là hạt siêu đối ứng fermion của nó, và mỗi fermion lại liên kết với một siêu đối ứng boson. Các hạt siêu đối ứng này có mọi khía cạnh giống như hạt bình thường liên

kết với nó (cùng khối lượng, cùng điện tích, v.v), chỉ trừ spin phải khác nhau 1/2. Ví dụ, siêu đối ứng của photon có spin 0, được gọi là "photino", có spin 1/2, trong khi electron với spin 1/2 có siêu đối ứng là selectron có spin 0.

Nhưng vũ trụ dường như không phải là siêu đối xứng. Chưa có ai từng nhìn thấy selectron, photino, hoặc các siêu đối ứng khác, mặc dù trên nguyên tắc chúng ta có những máy gia tốc đủ mạnh để làm chúng xuất hiện.



Siêu đối xứng (SUSY). Lý thuyết dây dự đoán rằng, đối với mỗi hạt cơ bản, phải có một hạt "siêu đối ứng" tương ứng nặng hơn, có spin chênh lệch nhau ½. Hiện tại, không có hạt siêu đối ứng nào đã từng được phát hiện.

Để cứu SUSY khỏi cái chết chắc chắn, các nhà vật lý đã phải thừa nhận rằng sự đối xứng được công bố giữa các hạt và các hạt siêu đối ứng của chúng đã bị phá vỡ, ít nhất là liên quan đến khối lượng của chúng. Họ phải giả định rằng khối

lượng của các siêu hạt này lớn hơn nhiều so với khối lượng của các hạt đối ứng của chúng (hình). Điều này có thể sẽ giải thích được tại sao không phát hiện được chúng, bởi vì khối lượng lớn có nghĩa là năng lượng lớn, và các máy gia tốc trong quá khứ không đạt được năng lượng cần thiết để làm chúng xuất hiện. Có lẽ LHC, máy gia tốc có khả năng tạo ra năng lượng rất lớn, một ngày nào đó sẽ tìm ra các hạt như vậy. Trong khi chờ đợi, SUSY ở dạng ban đầu, trong đó các khối lượng là hoàn toàn như nhau đối với một hạt và siêu đối ứng của nó, dường như không phù hợp với hành vi của tự nhiên.

Khám phá đáng kinh ngạc về gia tốc của vũ trụ vào năm 1998 cho chúng ta thêm một lý do để nghĩ rằng có thể không có sự đối xứng hoàn hảo giữa các boson và fermion. Thực tế, gia tốc vũ trụ ngụ ý năng lượng chân không là khác 0. Nhưng các boson, như photon, các hạt W và Z truyền tương tác điện yếu, hay hạt Higgs, đều có đóng góp dương vào năng lượng của chân không. Trái lại, các fermion, như electron, neutrino và quark, lại cho đóng góp âm. Trước khi khám phá ra sự tăng tốc của vũ trụ, hầu hết các nhà vật lý đều nghĩ rằng phải có một đối xứng hoàn hảo giữa những đóng góp dương của boson và âm của fermion, và chúng sẽ hoàn toàn triệt tiêu nhau. Năng lượng của chân không do đó sẽ không phải là lớn hơn 0 một chút, mà chính xác bằng 0.

Nhưng khám phá ra sự gia tốc của vũ trụ cho chúng ta biết rằng điều này không thể xảy ra: năng lượng của chân không không bằng 0, mà hơi lớn hơn 0 một chút. Như chúng ta đã thấy, nếu tính tổng các đóng góp dương của năng lượng

các boson và tổng đóng góp âm của các fermion, hai kết quả này đều cao hơn rất nhiều (gấp cỡ 10^{120} lần) năng lượng chân không quan sát được. Điều này có nghĩa là: để hiểu tại sao năng lượng chân không nhỏ hơn 10^{120} lần so với đóng góp riêng biệt của các boson và fermion, chúng ta phải giải thích tại sao đóng góp âm của các fermion lại chính xác bằng và ngược dấu với đóng góp dương của boson, và triệt tiêu nhau một cách chính xác đến 120 chữ số thập phân, cả hai chỉ có thể bắt đầu khác biệt từ chữ số thứ 121 – nói cách khác, trong hiệu số giữa đóng góp dương của các boson và âm của fermion, chữ số đầu tiên khác 0 chỉ xuất hiện sau 120 số 0!

Sự điều chỉnh chính xác một cách kinh hoàng như thế chẳng khác gì ma thuật! Vậy vũ trụ đã làm trò ảo thuật này như thế nào? Bí ẩn của năng lượng chân không vẫn còn nguyên vẹn cho đến khi một đề xuất gọi là "vị nhân" được đưa ra.

Một vũ trụ sinh ra từ chân không

Để thấy rõ ràng hơn, đã đến lúc phải tóm tắt lại những gì mà vũ trụ học hiện đại đã dạy chúng ta về lịch sử của vũ trụ. Nó bắt đầu từ một chân không vi mô đầy năng lượng. Ở các thang nhỏ nhất, nguyên lý bất định làm không gian tan thành vô số các thăng giáng lượng tử. Trong một phần nhỏ của một giây, lạm phát làm khuếch đại theo hàm số mũ những thăng giáng vi mô để làm chúng xuất hiện trong thế giới vĩ mô và sau đó đóng vai trò hạt giống của các thiên hà.

Việc giải phóng năng lượng chân không trong giai đoạn

lạm phát ngoài việc gây ra vụ "bang" của Big Bang, còn sinh ra các thành phần vật chất của vũ trụ. Einstein đã dạy chúng ta rằng khối lượng của một hạt vật chất cũng chính là năng lượng của nó chia cho bình phương tốc độ ánh sáng. Khi đồng hồ vũ trụ điểm một phần mười tỷ (10^{-10}) giây, vũ trụ đi vào kỷ nguyên điện yếu và các hạt cơ bản và phản hạt của chúng (như quark và phản quark, và electron và phản electron) xuất hiện. Toàn bộ vũ trụ là một hỗn hợp của các hạt cơ bản. Trong những cái ôm riết chết người, các hạt và phản hạt hủy nhau để trở thành ánh sáng, rồi lại chuyển đổi thành các cặp hạt-phản hạt. Vật chất và ánh sáng xuất hiện và biến mất trong vòng sinh tử không ngừng trong một khoảng thời gian vô cùng nhỏ. Tuy nhiên, sự hủy vật chất-phản vật chất không hoàn toàn triệt để do tự nhiên ưu ái vật chất hơn một chút xíu – cỡ một phần tỷ – so với phản vật chất. Cứ mỗi tỷ phản hạt, sẽ có một tỷ lẻ một hạt. Điều này nghĩa là với mỗi tỷ cặp hạt-phản hạt triệt tiêu nhau để trở thành các photon, sẽ còn lại một hạt vật chất không có đối tác phản hạt. May mắn thay cho chúng ta, bởi vì trong một vũ trụ đối xứng vật chất-phản vật chất hoàn hảo, toàn bộ vật chất và phản vật chất sẽ hủy nhau hết, chỉ còn lại ánh sáng, và chúng ta sẽ không bao giờ có thể xuất hiện.

Khi các khoảnh khắc tiếp tục trôi qua, vũ trụ sẽ lớn dần lên, loãng ra và nguội đi, cho phép hình thành các cấu trúc ngày càng phức tạp hơn. Thật vậy, nhiệt độ cao sẽ gây ra các chuyển động và va chạm dữ dội, dẫn đến sự hủy hoại không thể tránh khỏi của các cấu trúc phức tạp đã được tạo dựng. Để tránh sự hủy diệt này, vũ trụ phải kiên nhẫn chờ đợi cho

đến khi nhiệt độ giảm xuống nhằm đạt được sự phức tạp. Tại một phần ngàn giây sau Vụ nổ lớn, khi nhiệt độ của vũ trụ giảm xuống một ngàn tỷ (10^{12}) độ Kelvin, các quark kết hợp theo bộ ba để tạo thành các proton và neutron, những viên gạch của vật chất thông thường. Khoảng phút thứ ba, hai loại hạt này kết hợp với nhau tạo thành hạt nhân của hydrogen (một proton) và helium (hai proton và hai neutron). Vào năm 380.000, đến lượt các electron kết hợp với hạt nhân để hình thành các nguyên tử hydrogen và helium. Ba phần tư khối lượng của vũ trụ được tìm thấy dưới dạng các nguyên tử hydrogen, trong khi phần tư còn lại bao gồm các nguyên tử helium[1]. Các electron, bị mắc kẹt trong nguyên tử, không còn cản trở sự lưu thông của ánh sáng nữa. Màn sương mù bao trùm vũ trụ tan đi và vũ trụ trở nên trong suốt. Ánh sáng nguyên thủy, sinh ra trong những khoánh khắc đầu tiên của giây, cuối cùng có thể lan truyền một cách tự do. Nó đến với chúng ta ngày hôm nay dưới dạng một bức xạ vô tuyến hóa thạch (hay bức xạ nền vũ trụ).

Rồi vài trăm triệu năm trôi qua. Khoảng thời gian này là cần thiết để các thăng giáng mật độ vật chất – các hạt giống thiên hà sinh ra từ chân không và được khuếch đại bởi lạm phát – có thể thông qua lực hấp dẫn hút các thăng giáng vật

---

[1] Thành phần hóa học quan sát thấy trong các ngôi sao và các thiên hà của vũ trụ là khoảng ba phần tư hydrogen và một phần tư helium, phù hợp với giả thuyết của Big Bang. Sự phù hợp này là một trong những chiến công vĩ đại của lý thuyết này.

chất khác và phát triển thành các đám mây khí hydrogen và helium đủ lớn để chúng có thể co sập lại dưới tác dụng của lực hấp dẫn của chính mình. Khí nén sẽ bị nóng lên đến nhiệt độ trên 15 triệu Kelvin. Các phản ứng hạt nhân được khởi phát, tạo ra một lượng năng lượng khổng lồ. Rồi các khối cầu khí phát sáng: vậy là những ngôi sao đầu tiên đã được sinh ra, chiếu sáng bầu không gian tối đen như mực. Trong hàng tỷ năm tiếp theo, lực hấp dẫn vẫn sẽ tiếp tục tác động. Hàng trăm tỷ ngôi sao sẽ hợp lại với nhau thành các thiên hà, và hàng trăm tỷ thiên hà trong vũ trụ quan sát được sẽ hợp lại thành đám và siêu đám thiên hà để cho ra đời một kiến trúc tuyệt vời trong vũ trụ: những cấu trúc dạng sợi dài và mỏng kéo dài hàng trăm triệu năm ánh sáng, ranh giới của các khoảng trống rộng lớn mênh mông với đường kính hàng chục triệu năm ánh sáng, hoàn toàn trống rỗng không chứa một thiên hà nào. Cái vô cùng bé đã sinh ra cái vô cùng lớn như thế đó[1].

Đa vũ trụ

Trong số hàng trăm tỷ thiên hà của vũ trụ quan sát được, có một thiên hà với cái tên thật dịu dàng là Ngân Hà, gần một ngôi sao có tên là Mặt Trời, trên một hành tinh gọi là Trái Đất, các nguyên tử sẽ kết hợp thành các chuỗi DNA, rồi dẫn đến

---

[1] Để biết thêm chi tiết về các sự kiện của vũ trụ nguyên thủy, độc giả có thể tham khảo thêm cuốn *La Mélodie secrète* (Giai điệu bí ẩn, NXB Trẻ 2013) của cùng tác giả.

sự sống khoảng 3,8 tỷ năm trước, rồi đến ý thức và con người biết đặt ra những câu hỏi về vũ trụ sinh ra mình. Do có sự hiện diện của chúng ta trong vũ trụ, nên nảy ra một câu hỏi: liệu năng lượng chân không có phải được xác định bởi chính sự kiện đơn giản là chúng ta tồn tại hay không?

Cần biết rằng tất cả các thuộc tính của vũ trụ, sự tiến hóa và số phận của nó phụ thuộc một cách rất chính xác vào các định luật vật lý bị chi phối đồng thời bởi một ít con số được gọi là các "hằng số cơ bản của tự nhiên" và những điều kiện ban đầu, nói cách khác là những tính chất mà các bà tiên đã ban cho vũ trụ lúc lọt lòng. Các hằng số vật lý – có khoảng mười lăm số – bao gồm tốc độ ánh sáng, khối lượng các hạt cơ bản, các hằng số quy định cường độ của bốn lực cơ bản của tự nhiên, như hằng số hấp dẫn hoặc hằng số Planck quy định kích thước của các nguyên tử. Còn các điều kiện ban đầu, ví dụ như mật độ của vật chất tối thống thường và ngoại lai và năng lượng tối vào lúc vũ trụ sinh ra, hoặc tốc độ giãn nở ban đầu của vũ trụ. Các nhà vật lý thiên văn đã nhận ra rằng sự tồn tại của sự sống và ý thức trong vũ trụ phụ thuộc vào sự căn chỉnh cực kỳ chính xác các hằng số vật lý và các điều kiện ban đầu đó. Chỉ cần thay đổi các tham số này một chút thôi là vũ trụ sẽ hoàn toàn khác: nó sẽ không thể cưu mang sự sống, và bản thân chúng ta cũng sẽ không tồn tại. Một số tham số yêu cầu độ chính xác cực cao. Chẳng hạn như mật độ vật chất ban đầu của vũ trụ phải được căn chỉnh với độ chính xác tới 10^{-60}. Chỉ cần thay đổi chữ số thập phân thứ 60 thôi, là mọi thứ sẽ đảo lộn: vũ trụ sẽ trống rỗng và cằn cỗi. Ngay cả khi việc điều

chỉnh các tham số khác không chính xác đến mức như thế, thì kết luận vẫn không thay đổi: bất kỳ sự thay đổi nào đều kéo theo việc loại bỏ sự sống và ý thức. Nhà thiên văn người Pháp gốc Anh Brandon Carter (1942), vào năm 1974, đã đề nghị nâng thực tế này thành "nguyên lý vị nhân" (*anthropos* theo tiếng Hy Lạp, có nghĩa là "con người")[1].

Trong một thời gian dài, các nhà vật lý nghĩ rằng Lý thuyết của vạn vật, nếu được tìm ra, có thể sẽ giải thích được giá trị chính xác của các tham số này. Nó có thể cho chúng ta biết, ví dụ, tại sao khối lượng của electron lại nhỏ hơn gần hai ngàn lần proton, tại sao lại có bốn lực cơ bản trong tự nhiên, tại sao lực hấp dẫn lại yếu hơn 10^{39} lần so với lực điện từ, hoặc tại sao ánh sáng lại chuyển động với tốc độ 300.000 kilomet mỗi giây. Các nhà vật lý miệt mài làm việc. Nhưng họ đã vỡ mộng. Lý thuyết dây, được cho là Lý thuyết của vạn vật và được đặt rất nhiều hy vọng, đã không thực hiện được lời hứa của nó. Trong khi đó, khái niệm về các vũ trụ song song hoặc đa vũ trụ lại ngày càng trở nên quan trọng hơn trong vật lý hiện đại, khiến chúng ta phải xem xét lại các ý tưởng này một cách triệt để.

Trong quá khứ gần đây, chúng ta vẫn hiểu "vũ trụ" là toàn bộ những gì tồn tại. Nhưng những tiến bộ trong vật lý đã buộc chúng ta phải xem xét lại định nghĩa này, cũng như xem xét một cách nghiêm túc khái niệm về các vũ trụ song song

---

[1] Để biết thêm chi tiết về nguyên lý vị nhân, có thể tham khảo sách vừa dẫn ở trên.

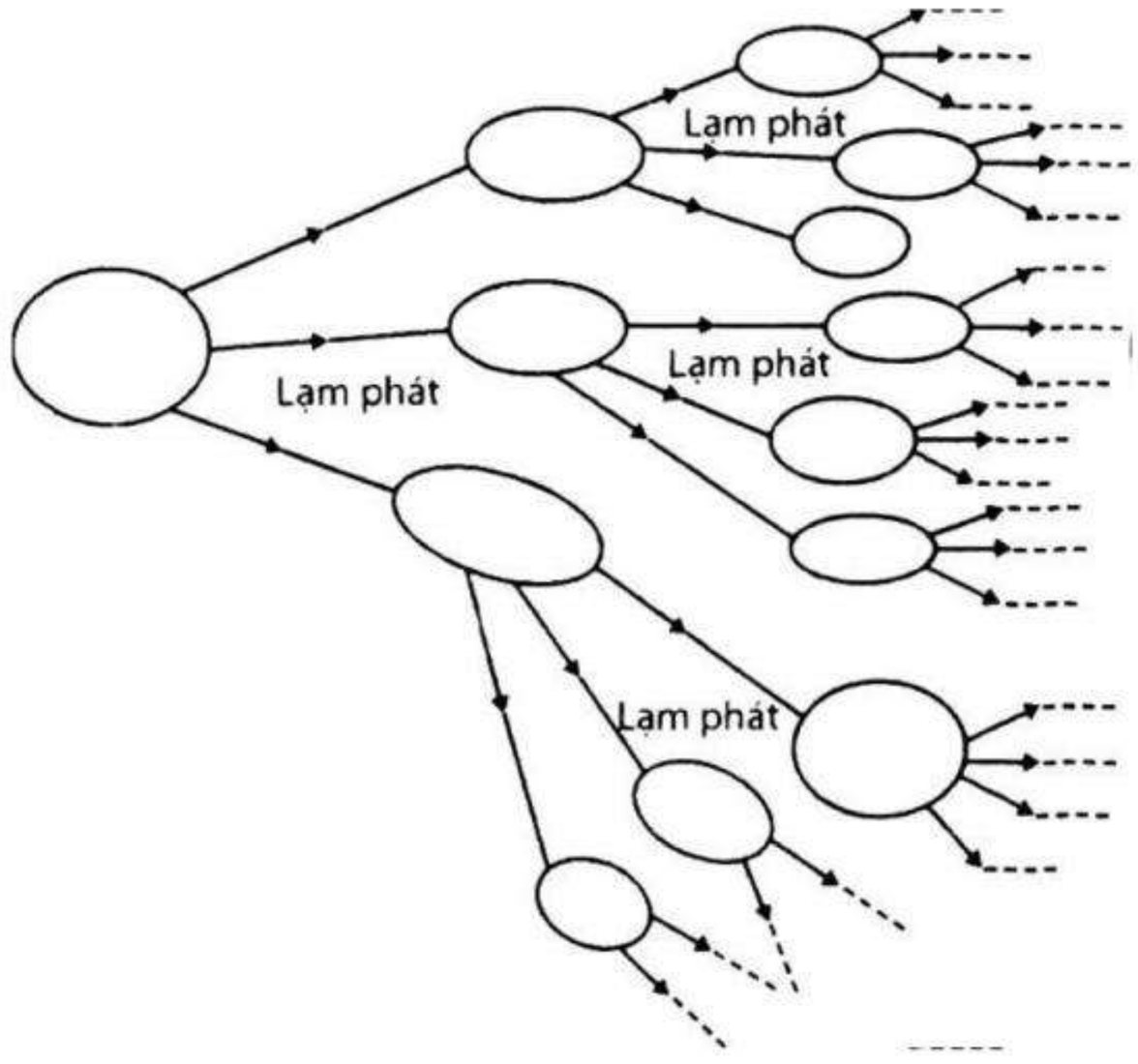
với vũ trụ chúng ta mà chúng ta không thể tiếp cận bằng cách quan sát, một phần hoặc toàn bộ, tất cả tạo thành một đa vũ trụ vô cùng rộng lớn[1]. Phiên bản đầu tiên của các vũ trụ song song này, mà có lẽ là có khả năng nhất, xuất phát từ lý thuyết "lạm phát vĩnh cửu" của nhà vật lý người Mỹ gốc Nga Andrei Linde (1948) (hình). Theo lý thuyết này, sự giãn nở chóng mặt theo hàm mũ của không gian nguyên thủy, gây bởi một giả chân không tiến tới chân không thật sự, không chỉ xảy ra một lần duy nhất ở một nơi duy nhất, mà xảy ra vô số lần ở vô số địa điểm. Mỗi lần giãn nở như thế lại sinh ra một bong bóng vũ trụ. Như vậy, vũ trụ của chúng ta cũng chỉ là một trong vô vàn các vũ trụ bong bóng khác, tất cả tạo thành một siêu vũ trụ. Đó chính là đa vũ trụ lạm phát (hình trang sau).

Lý thuyết dây không hề chịu thua kém. Nó cũng cung cấp cho chúng ta phiên bản của riêng mình về đa vũ trụ. Phiên bản đơn giản nhất của lý thuyết dây được gọi là "Lý thuyết M", trong đó M chỉ từ "membrane" (màng). Lý thuyết M nói rằng vũ trụ giống như một brane (màng) (dạng rút gọn của từ "membrane") có ba chiều không gian và một chiều thời gian

---

1 Khái niệm các vũ trụ song song được phát triển chi tiết hơn trong cuốn sách *Désir d'infini* (Khát vọng tới cái vô hạn – NXB Trẻ, 2015) của cùng tác giả.

Sự đẩy của cái Không



Đa vũ trụ lạm phát bao gồm vô số các bong bóng vũ trụ trong một siêu vũ trụ. Mỗi bong bóng vũ trụ tạo ra vô số các bong bóng vũ trụ khác, từ đó tạo ra một sự bùng nổ của các bong bóng vũ trụ, và cứ như thế.

nhìn thấy được. Nó cũng đòi hỏi thêm sáu chiều không gian nữa không nhìn thấy ngoài ba chiều mà chúng ta cảm nhận được. Chỉ có điều các chiều phụ thêm này không "phồng lên" bởi quá trình lạm phát lúc ban đầu mà vẫn cuộn lại rất chặt đến mức không thể quan sát được (kích thước của chúng cỡ độ dài Planck, 10^{-33}cm). Theo lý thuyết M, các chiều phụ này phải được cuộn chặt lại có dạng hình học rất cụ thể gọi là Calabi-Yau, theo tên của nhà toán học Eugenio Calabi (1923) và Shing-Tung Yau (1949), người đã khám phá ra chúng rất lâu trước khi lý thuyết dây ra đời. Do các dạng hình học Calabi-Yau cực kỳ đa dạng (hình 11 trong tập ảnh màu), và do cách mà sáu chiều không gian không nhìn thấy cuộn lại theo một dạng Calabi-Yau, và mỗi một lần như thế lại cho ra

đời một vũ trụ khác nhau với bốn chiều nhìn thấy được (gồm ba chiều không gian và một chiều thời gian mà chúng ta biết), nên lý thuyết M tiên đoán sự tồn tại của một số lượng rất lớn các vũ trụ song song với vũ trụ chúng ta. Con số này, bằng với số hình học Calabi-Yau khả hữu và vượt quá trí tưởng tượng phong phú nhất: nó cỡ 10^{500} [1]! Mỗi vũ trụ màng sẽ có một tổ hợp các hằng số vật lý và các điều kiện ban đầu riêng. Một số sẽ rất giống với vũ trụ của chúng ta, có lẽ chỉ khác ở vị trí hoặc vận tốc của một hạt cơ bản. Một số khác thì khác biệt hoàn toàn với các định luật và hằng số vật lý, các hạt cơ bản, và các lực cơ bản, tất cả đều khác. Như vậy, lý thuyết dây nói với chúng ta rằng vũ trụ của chúng ta chỉ là một trong số 10^{500} vũ trụ song song khác, tạo thành một đa vũ trụ màng rộng lớn (hình trang sau).

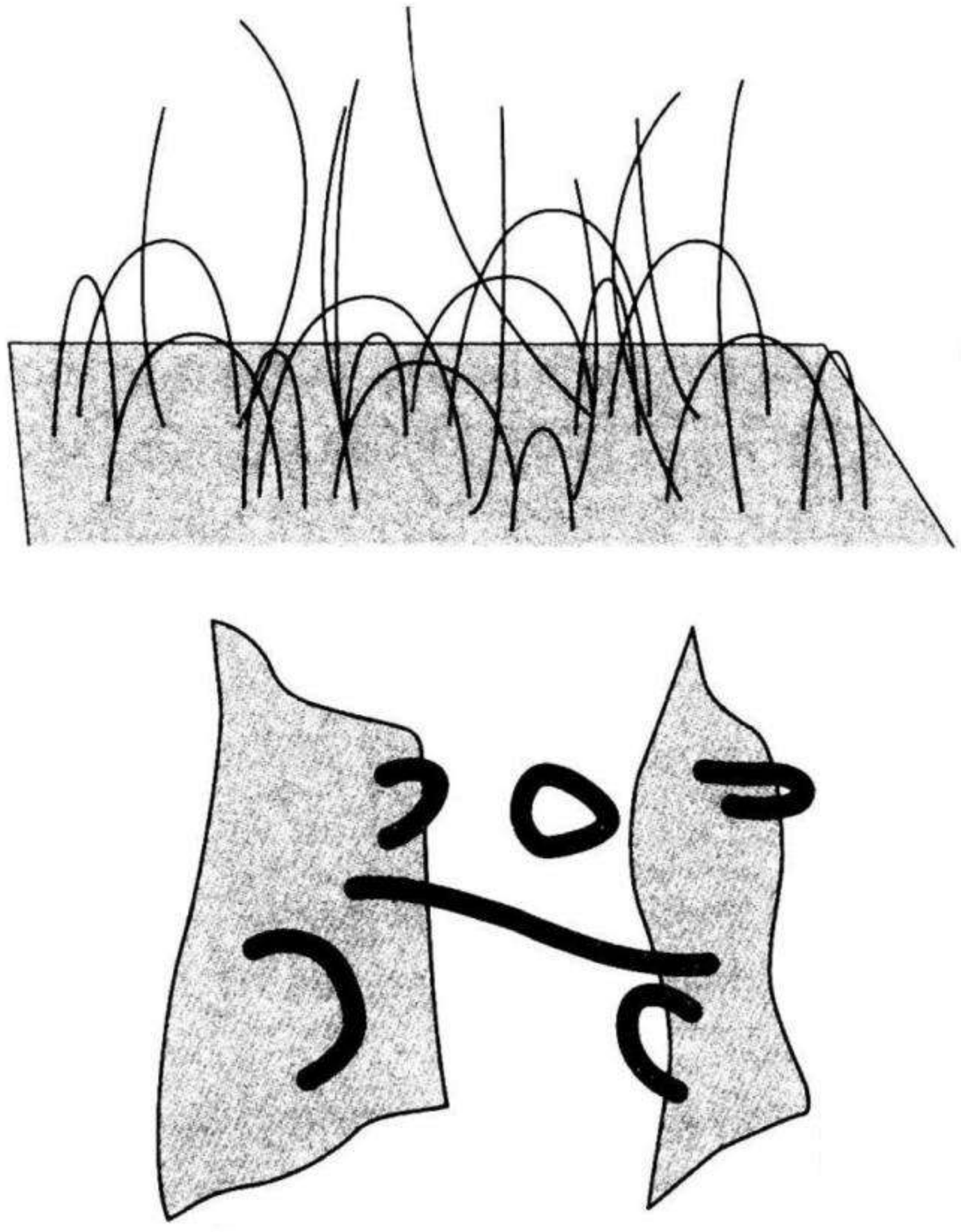
Chưa hết, đa vũ trụ cũng xuất hiện trong lý thuyết về "vũ trụ phân nhánh[2]" được nhà vật lý người Mỹ Hugh Everett III (1930-1982) đề xuất vào năm 1957, để cung cấp một cách giải thích khác thay thế cách giải thích xác suất cho các hiện tượng nguyên tử và hạ nguyên tử của trường phái Copenhagen[3].

---

1 Để so sánh, tổng số hạt cơ bản trong vũ trụ có thể quan sát được chỉ là 10^{80}!

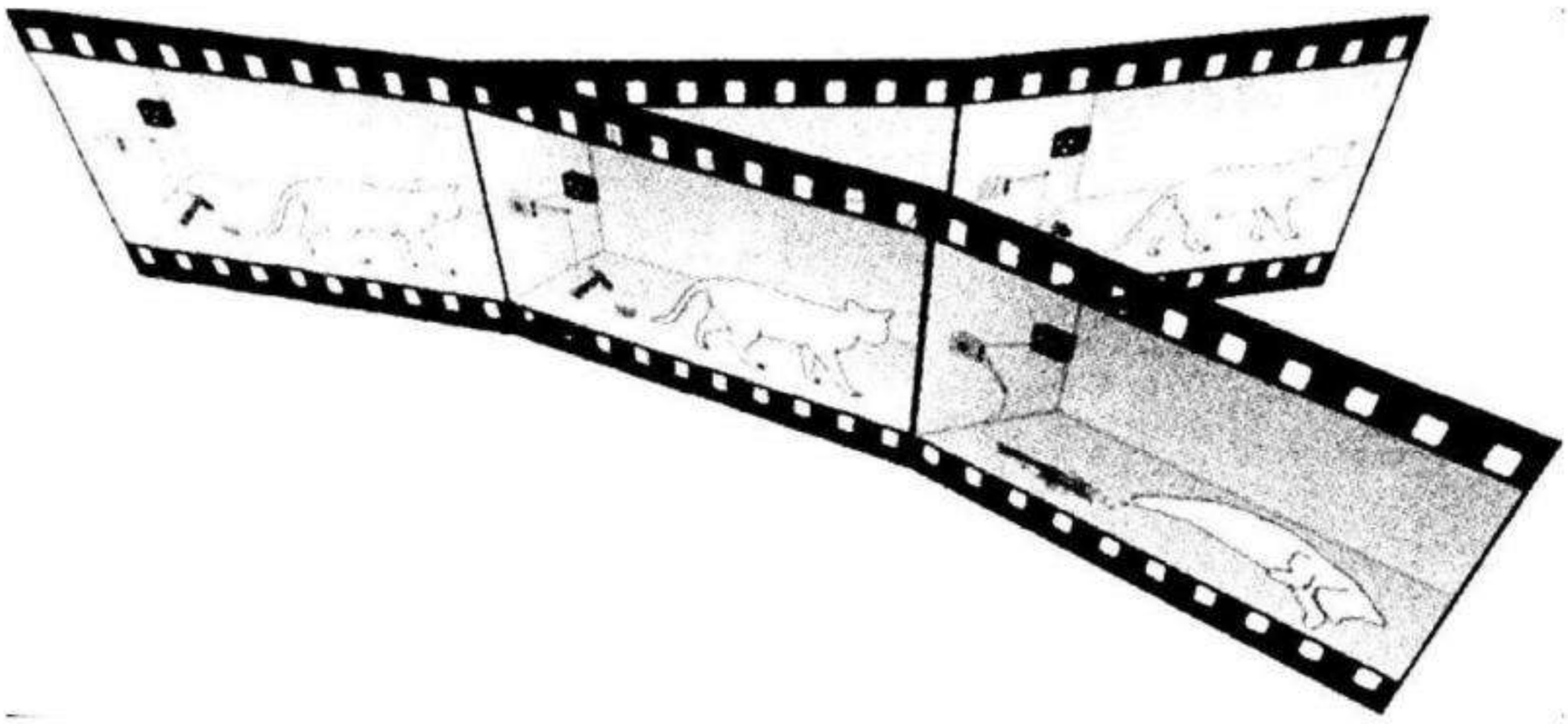
2 Tôi lấy cảm hứng từ tựa đề của câu chuyện tuyệt vời *El jardín de senderos que se bifurcan* (Ngôi vườn với những con đường phân nhánh) của Jorge Luis Borges (1941), trong đó nhà văn Argentina cũng phát triển ý tưởng cho rằng tất cả các khả năng có thể trong vũ trụ đều xuất hiện đồng thời.

3 Trường phái Copenhagen được gọi như vậy bởi vì Viện vật lý dưới sự lãnh đạo của Bohr, nơi mà Werner Heisenberg và Wolfgang Pauli thường xuyên lui tới, được đặt tại Copenhagen.



Các đa vũ trụ màng theo lý thuyết dây. a) Dây được gắn vào các mặt gọi là "màng". b) Mỗi màng tạo thành một vũ trụ khác biệt, và tập hợp tất cả các màng tạo thành một đa vũ trụ rộng lớn.

Theo Niels Bohr, Werner Heisenberg và các đồng nghiệp, chừng nào thiết bị đo chưa được kích hoạt để quan sát, chẳng hạn một electron, chúng ta chỉ có thể mô tả thực tại (tốc độ, vị trí, v.v) của nó bằng một sóng xác suất. Chỉ sau khi phép đo được thực hiện nó mới biến đổi thành một hạt, đặc trưng bởi vị trí hoặc tốc độ. Thông thường, khi có nhiều khả năng hành động hay lựa chọn thay thế, chúng ta sẽ chọn một và loại bỏ



Trong đa vũ trụ của các vũ trụ phân nhánh, vũ trụ sẽ phân thành hai mỗi khi có sự lựa chọn hoặc thay thế: sẽ có một vũ trụ trong đó con mèo Schrödinger còn sống và vũ trụ khác trong đó nó chết.

tất cả những khả năng còn lại. Tuy nhiên, theo Everett, mỗi lần có sự lựa chọn, vũ trụ phân nhánh thành nhiều bản sao gần như tương tự, và tất cả các tùy chọn và các kịch bản khả dĩ đều có thể trở thành thực tế. Đối với electron, khái niệm vũ trụ song song làm cho vị trí quan sát được và tất cả các vị trí khác của hạt này hay sóng (xác suất) đều khác 0 và hoàn toàn bình đẳng. Electron chiếm tất cả các vị trí dù quan sát được hay không, nhưng mỗi vị trí nằm trong các vũ trụ song song khác nhau. Nói cách khác, tất cả các khả năng đều được thực hiện, nhưng là trong các vũ trụ song song. Vì vậy, trong một vũ trụ, con mèo Schrödinger là chết, nhưng ở một vũ trụ khác nó lại là sống[1] (hình). Trong một vũ trụ bạn sẽ ở nhà đọc cuốn

---

[1] Mặc dù là tác giả của phương trình sóng mô tả hành vi của các hạt, nhưng Erwin Schrödinger lại bác bỏ sự giải thích xác suất đối với phương trình của mình. Ông tưởng tượng ra một thí nghiệm được gọi là "Con mèo của

sách này, ở một vũ trụ khác bạn lại đến rạp chiếu phim. Trong một vũ trụ, Napoléon thua trận Waterloo, trong vũ trụ khác ông ta lại giành chiến thắng. Trong một vũ trụ, sự nóng lên toàn cầu sẽ không xảy ra trong khi đó một Trái Đất khác trở thành không thể sống được. Các vũ trụ song song có những nhà quan sát giống hệt nhau bị phân đôi, nhưng hoàn toàn bị tách rời nhau: sẽ không bao giờ có bất cứ sự liên lạc nào giữa các nhà quan sát thuộc các vũ trụ khác nhau. Một số khác thậm chí còn có những khác biệt cơ bản hơn: các định luật, các hằng số vật lý và các điều kiện ban đầu của chúng sẽ khác biệt hoàn toàn; một số có sự sống và ý thức, trong khi số khác sẽ cằn cỗi, vô sinh. Và các vũ trụ song song này đều là thực như nhau. Đó là đa vũ trụ của các vũ trụ phân nhánh.

Năng lượng của chân không liệu có được quyết định bởi sự có mặt của chúng ta?

Đối mặt với khái niệm đa vũ trụ được áp đặt ngày càng dai dẳng lên quang cảnh của vũ trụ học đương đại, một số nhà vật lý đã bắt đầu đặt lại vấn đề về một ý tưởng xưa cũ, theo đó tất cả các đặc tính cơ bản của vũ trụ có thể được xác định bởi một lý thuyết vật lý duy nhất, Lý thuyết của vạn vật. Xét cho cùng, nếu có vô số các vũ trụ song song, mỗi vũ trụ có một tổ hợp

---

Schrödinger" để chứng minh những nghịch lý của cơ học lượng tử nếu nó được áp dụng cho thế giới hằng ngày. Xem mô tả chi tiết trong cuốn sách *Désir d'Infini* (Khát vọng tới cái vô hạn - sđd) của cùng tác giả.

các hằng số vật lý và các điều kiện ban đầu riêng, thì những hằng số ấy sẽ không còn là "cơ bản" nữa. Vì chúng có thể có bất kỳ giá trị nào, và sẽ không có ý nghĩa gì trong việc cố gắng tìm kiếm một lý thuyết giải nhằm thích tại sao chúng lại có giá trị cụ thể này mà không phải là một giá trị nào khác. Và rồi, nếu bất chấp tất cả những nỗ lực của chúng ta trong gần nửa thế kỷ mà Lý thuyết của vạn vật vẫn không thể ra đời, thì có lẽ đơn giản là nó không tồn tại!

Nhưng nếu chúng ta từ bỏ con đường của lý thuyết này, làm thế nào có thể giải thích được các thuộc tính của vũ trụ chúng ta? Và đặc biệt, để trở lại câu hỏi chúng ta quan tâm ở đây, là tại sao năng lượng của chân không lại có giá trị như nó có, khác 0, bởi vì cần để lý giải sự gia tốc của vũ trụ, nhưng năng lượng ấy là cực kỳ nhỏ vì sự đóng góp dương và âm của các hạt ảo khác nhau trong chân không phải chính xác bằng nhau và trái dấu để triệt tiêu nhau đến chữ số thập phân thứ 120.

Trong tuyệt vọng, một số nhà vật lý đã quay sang con đường vị nhân: năng lượng chân không phải như thế để tương thích với sự tồn tại của chúng ta[1]. Chẳng hạn, nhà vật lý người Mỹ Steven Weinberg, vào năm 1987 (11 năm trước khi phát hiện sự gia tốc của vũ trụ), đã tính được giá trị năng lượng của chân không (dưới dạng một hằng số vũ trụ kiểu như của

---

[1] Có hai phiên bản của nguyên lý vị nhân, được gọi là "yếu" và "mạnh". Phiên bản yếu được trình bày ở đây: các tính chất của vũ trụ phải tương thích với sự tồn tại của chúng ta. Phiên bản mạnh và gây nhiều tranh cãi nói rằng vũ trụ đã được điều chỉnh cực kỳ chính xác để con người (hoặc bất kỳ hình thức sống và ý thức nào khác) xuất hiện.

Einstein) cần thiết để cho phép sự xuất hiện của sự sống và ý thức trong vũ trụ. Chúng không thể xuất hiện trong một vũ trụ với năng lượng chân không quá dương, ông lý luận: lực phản hấp dẫn rất lớn của nó sẽ gây ra sự giãn nở dữ dội đến mức không có vật chất nào có thể tập hợp lại được dưới tác dụng của lực hấp dẫn hút[1] để hình thành các ngôi sao, nơi sẽ sản xuất ra các nguyên tố nặng cần thiết cho sự phát triển của sự sống và ý thức. Ngược lại, chúng cũng không thể xuất hiện trong một vũ trụ với năng lượng chân không quá âm: thay vì một lực phản hấp dẫn khổng lồ, năng lượng chân không âm này lại tạo ra một lực hấp dẫn cực lớn, thêm vào với lực hấp dẫn của vật chất, sẽ làm cho vũ trụ co sập lại trong một vụ big crunch (vụ co lớn), trong một khoảng thời gian tương đối ngắn; vũ trụ sẽ không có hàng tỷ năm cần thiết để sinh ra các nguyên tố nặng qua lò giả kim thuật hạt nhân của các ngôi sao, cũng như cho quá trình hình thành của sự sống và ý thức từ các nguyên tố nặng. Tất cả mọi thứ diễn ra trên một sự cân bằng rất tinh tế: Weinberg chứng minh rằng sự tồn tại của chúng ta chỉ có thể nếu vũ trụ có một năng lượng chân không chỉ hơi dương một chút, đủ để lý giải được sự tăng tốc quan sát được của vũ trụ. Nói cách khác, theo nhà vật lý này, giá trị của năng lượng chân không của vũ trụ chúng ta được xác định một cách vị nhân: nghĩa là nó có giá trị như vậy là do

---

[1] Lực hấp dẫn thông thường giảm theo bình phương khoảng cách, trong khi lực phản hấp dẫn liên quan đến hằng số vũ trụ tăng tỷ lệ với khoảng cách.

sự hiện diện của chúng ta. Trong vô số các vũ trụ song song, chỉ có vũ trụ của chúng ta có những điều kiện cần thiết, và đó là lý do tại sao chúng ta có mặt ở đây để đặt câu hỏi về năng lượng của chân không. Tất cả các vũ trụ khác có năng lượng chân không quá dương hoặc quá âm, đều không có sự sống và ý thức.

Phải nghĩ thế nào về lời giải thích mang tính vị nhân về giá trị năng lượng của chân không này? Nó đặt chúng ta trong một tình huống rất khó xử, bởi vì nó dựa trên giả thuyết đa vũ trụ. Mà các vũ trụ song song lại không thể tiếp cận để quan sát được: chúng ta không bao giờ có thể trực tiếp xác minh sự tồn tại của các vũ trụ đó. Bằng kính thiên văn, chúng ta chỉ có thể tiếp cận với vũ trụ quan sát được, giới hạn bởi một mặt cầu-chân trời có bán kính 47 tỷ năm ánh sáng. Giới hạn này không phải là do sự áp đặt của công nghệ (về nguyên tắc, chúng ta có thể xây dựng các kính thiên văn ngày càng lớn và thấy được các đối tượng càng mờ và xa hơn) mà là của tốc độ ánh sáng. Ánh sáng của các thiên hà bên kia mặt cầu-chân trời không đủ thời gian để đến được với chúng ta trong 13,8 tỷ năm của vũ trụ. Toàn bộ vũ trụ, mà các nhà thiên văn học tin rằng có bán kính gấp hai triệu tỷ tỷ lần so với vũ trụ quan sát được, sẽ vĩnh viễn nằm ngoài khả năng của chúng ta. Tương tự, các vũ trụ song song của đa vũ trụ lạm phát thậm chí còn ở xa hơn, tức là cũng sẽ nằm ngoài tầm của các kính thiên văn. Trong lý thuyết M, vũ trụ song song của đa vũ trụ màng, về nguyên tắc, rất giống với chúng ta, ở rất gần vũ trụ màng của chúng ta, nhưng cũng không thể tiếp cận được chúng để quan sát

bởi vì chúng nằm trong các chiều không gian khác. Còn với lý thuyết về các vũ trụ phân nhánh, nó thậm chí dường như thoát khỏi mọi kiểm chứng thực nghiệm: nó tiên đoán các hiện tượng giống hệt với những tiên đoán của cơ học lượng tử trong phiên bản xác suất của nó, và không có cách nào phân biệt được bằng thực nghiệm hai phiên bản và xác minh rằng vũ trụ phân nhánh thực sự được chia thành vô số bản sao bất cứ khi nào có sự lựa chọn hay quyết định.

Trong tình trạng hiểu biết hiện tại của chúng ta, dường như không có thực nghiệm hay quan sát nào có thể xác nhận hoặc phủ nhận sự tồn tại của đa vũ trụ vào một khi nào đó. Khái niệm này là "không thể bác bỏ", theo thuật ngữ của triết gia người Áo Karl Popper (1902-1994), và do đó không phải là khoa học. Khoa học, xin nhắc lại một lần nữa, là dựa vào sự tác động qua lại thường xuyên giữa quan sát và lý thuyết, và nếu không có quá trình thường hằng này, thì khoa học sẽ sớm sa lầy vào siêu hình. Giải thích mang tính vị nhân về năng lượng của chân không do đó rất không thỏa đáng.

Tương lai của một vũ trụ tăng tốc độ giãn nở

Vậy tương lai của vũ trụ sẽ như thế nào? Sau giai đoạn giãn nở điên cuồng trong pha lạm phát, từ 10^{-34} đến 10^{-32} giây, vũ trụ chuyển sang giãn nở bình lặng hơn và chậm rãi hơn[1]. Do

---

[1] Trong kỷ nguyên bức xạ, từ 10^{32} giây và trong 50 ngàn năm, mật độ bức xạ cao hơn mật độ vật chất trong vũ trụ: bức xạ lúc này đóng vai trò chủ

lực hấp dẫn gây ra bởi vật chất và ánh sáng đối ngược với lực bùng nổ do năng lượng của chân không gây ra, vũ trụ trải qua giai đoạn giảm tốc trong bảy tỷ năm đầu tiên của nó. Nhưng từ tám tỷ năm trước, chuyển động giảm tốc đã biến thành chuyển động tăng tốc. Hành vi này tương tự như chuyển động của một chiếc xe hơi dừng lại ở đèn đỏ: người lái xe nhấn phanh, xe sẽ giảm tốc độ cho đến khi nó dừng lại hoàn toàn; khi đèn chuyển sang xanh, người lái xe đạp ga và xe tăng tốc vài giây trước khi đạt tốc độ không đổi. Còn vũ trụ thì, nó sẽ tiếp tục tăng tốc đến thời gian vô tận.

Tại sao vũ trụ phải mất tới bảy tỷ năm để chuyển từ chuyển động giảm tốc sang chuyển động tăng tốc? Tại sao năng lượng của chân không với lực đẩy do nó gây ra không thể hiện sớm hơn? Thực tế, lực này luôn hiện diện, nhưng ẩn trong bóng tối, từ lúc khởi đầu của vũ trụ. Chỉ có điều là trong bảy tỷ năm đầu tiên nó quá yếu, không thể vượt qua được lực hấp dẫn do vật chất (thông thường và ngoại lai) và ánh sáng của vũ trụ gây ra. Đó là lúc lực hấp dẫn thống trị và làm giảm tốc độ giãn nở. Nhưng thời gian vốn ưu ái năng lượng của chân không, nó chỉ cần kiên nhẫn và chờ đợi thời điểm phù hợp để chiếm quyền kiểm soát các sự kiện. Thực tế, khi thời gian trôi qua và thể tích của vũ trụ tăng lên, mật độ vật chất và bức xạ không ngừng giảm

---

đạo, và vũ trụ giãn nở tỷ lệ với căn bậc hai của thời gian ($t^{1/2}$). Tiếp sau đó và trong bảy tỷ năm, vật chất chiếm ưu thế và kiểm soát sự giãn nở của vũ trụ: nó giãn nở tỷ lệ với lũy thừa bậc 2/3 của thời gian ($t^{2/3}$). Và bắt đầu từ tám tỷ năm trước, năng lượng tối chiếm ưu thế và kiểm soát sự giãn nở tăng tốc của vũ trụ.

đi (nhớ rằng mật độ tỷ lệ nghịch với thể tích) trong khi mật độ năng lượng của chân không vẫn không đổi (vì, như chúng ta đã thấy, áp lực âm của chân không đã phân phối năng lượng cho không gian trong quá trình giãn nở). Sau tám tỷ năm, lực đẩy của năng lượng chân không chiếm ưu thế so với lực hấp dẫn hút của vật chất và bức xạ, và vũ trụ chuyển sang chế độ tăng tốc.

Sự kiểm kế các thành phần năng lượng (ánh sáng cũng là một dạng năng lượng) và vật chất trong vũ trụ cũng như các quan sát kích thước góc của những thăng giáng mật độ trong bức xạ nền, như đã nói, đã phát lộ cho chúng ta biết rằng chúng ta đang sống trong một vũ trụ có hình học phẳng, có độ cong bằng 0 và mật độ bằng mật độ tới hạn. Sự tăng tốc độ giãn nở của vũ trụ sẽ là vĩnh viễn. Vũ trụ sẽ tiếp tục loãng hơn và nguội đi. Nhiệt độ của bức xạ nền, ngày nay chỉ khoảng ba Kelvin hay -270 độ C, sẽ tiếp tục giảm dần, tiến dần tới 0 độ tuyệt đối (hay 0 Kelvin), nhiệt độ mà ở đó mọi chuyển động nguyên tử đều chấm dứt. Khi thời gian trôi qua, bầu trời sẽ ngày càng thưa dần các thiến hà. Do sự tăng tốc độ giãn nở của vũ trụ, các thiên hà xa xôi sẽ chạy ra xa dải Ngân Hà ngày một nhanh, cho tới khi bằng và thậm chí vượt quá tốc độ ánh sáng[1]. Những thiên hà này sẽ biến mất khỏi tầm quan sát của

---

[1] Hãy nhớ rằng sự vượt quá tốc độ ánh sáng này không mâu thuẩn gì với thuyết tương đối hẹp cả. Thật vậy, chuyển động ra xa nhau của các thiên hà không phải là chuyển động của chúng qua không gian tĩnh, mà là chuyên động của chính không gian đang giãn nở kéo theo các thiên hà đang đứng yên trong đó. Thuyết tương đối không ngăn cấm bản thân không gian có chuyển động giãn nở nhanh hơn ánh sáng.

chúng ta. Thật vậy, hiệu ứng Doppler sẽ làm cho ánh sáng của chúng tới chúng ta ngày càng dịch về phía đỏ. Nói cách khác, bước sóng ánh sáng (khoảng cách giữa hai đỉnh hoặc hai hõm liên tiếp của sóng ánh sáng) đến từ một thiên hà xa xôi sẽ tăng lên khi thời gian trôi qua: ánh sáng ban đầu của nó nằm trong phạm vi khả kiến sẽ chuyển dịch dần sang ánh sáng hồng ngoại, ánh sáng vi sóng, và sau đó là ánh sáng vô tuyến, cho đến khi bước sóng lớn đến mức nó sẽ vượt quá cả kích thước của vũ trụ; và tại thời điểm này, thiên hà sẽ biến mất mãi mãi khỏi tầm nhìn của chúng ta. Các phép tính cho thấy, do bị cuốn đi bởi sự giãn nở tăng tốc của vũ trụ, vài trăm tỷ thiên hà của vũ trụ quan sát được hiện nay sẽ trở nên không còn nhìn thấy nữa đối với chúng ta sau khoảng non hai ngàn tỷ năm nữa, nghĩa là gấp khoảng một trăm lần tuổi hiện tại của vũ trụ. So với sự tồn tại một trăm năm của chúng ta, khoảng thời gian này có vẻ rất lớn, nhưng xét cho cùng nó cũng chỉ là một cái chớp mắt so với vĩnh cửu.

Liệu điều này có nghĩa là Ngân Hà sẽ chỉ còn lại đơn độc trong không gian bao la tối đen như mực? Không, bởi vì nó là một phần trong một cấu trúc kỳ vĩ của vũ trụ được gọi là "Siêu đám địa phương". Cấu trúc khổng lồ và phức tạp này chứa khoảng mười ngàn thiên hà tập hợp thành các cụm vài chục thiên hà – Ngân Hà nằm trong Cụm địa phương bao gồm thiên hà Andromeda (hình 12 trong tập ảnh màu) và vài chục thiên hà lùn – hoặc thành các đám chứa hàng ngàn thiên hà. Do lực hấp dẫn liên kết các thiên hà của Siêu đám địa phương, nên chúng sẽ không bị tan rã trong tương lai vì sự tăng tốc

giãn nở của vũ trụ. Những thiên hà thuộc Siêu đám này sẽ luôn có mặt để làm mãn nhãn con cháu chút chít chụt chịt của chúng ta. Nhưng trong tương lai xa, chúng sẽ không còn là các thực thể riêng biệt nữa: lực hấp dẫn sẽ làm chúng lao về phía nhau để tạo thành một Siêu thiên hà. Chẳng hạn, dải Ngân Hà rồi sẽ hợp nhất với thiên hà láng giềng Andromeda sau khoảng bốn tỷ năm. Trong hai ngàn tỷ năm nữa, hậu thế của chúng ta sẽ có ấn tượng rằng toàn bộ vũ trụ quy gọn chỉ còn là một Siêu thiên hà và bao quanh siêu thiên hà đó chỉ là không gian trống rỗng. Khi ấy chúng sẽ nghĩ một cách sai lầm rằng không gian này là tĩnh, bởi vì không có thiên hà nào khác ở ngoài Siêu thiên hà, chúng sẽ không còn các cọc tiêu vũ trụ nào nữa để đo sự giãn nở của vũ trụ, ấy là chưa nói đến chuyển động tăng tốc của nó! Trớ trêu hơn nữa, các nhà thiên văn của tương lai xa xôi sẽ có cùng một nhận định – mà hoàn toàn sai lầm – về thế giới như cách đây khoảng một thế kỷ, vào năm 1915, khi tổ tiên của chúng ta tin rằng vũ trụ chỉ được giới hạn trong dải Ngân Hà và rằng không gian xung quanh nó là tĩnh và trống rỗng!

Nhưng có thể sẽ không mất hết tất cả. Điều gì sẽ xảy ra với bức xạ nền tràn ngập khắp nơi trong vũ trụ? Con cháu chúng ta liệu có thể quan sát nó để suy luận, như chúng ta đã làm, rằng trong quá khứ vũ trụ đã có một trạng thái cực kỳ nhỏ, nóng và đặc, và rằng nó đã được sinh ra trong một vụ nổ dữ dội của không gian gọi là "Big Bang"? Thật không may, ngay cả quan sát này chúng cũng không thể có được. Thật vậy, không gian giữa các vì sao của Siêu thiên hà, kết quả của sự hợp nhất

các thiên hà riêng lẻ thuộc Siêu đám địa phương, sẽ chứa đầy khí nóng lên đến hàng triệu độ bởi va chạm của các thiên hà. Mà nhiệt độ cao đồng nghĩa với chuyển động dữ dội. Các nguyên tử khí sẽ va chạm và bị ion hóa, tức mất đi các electron của chúng. Khí giữa các vì sao sẽ trở thành cái mà các nhà vật lý gọi là "plasma", chứa đầy hạt nhân nguyên tử và các electron tự do. Chúng sẽ ngăn chặn sự di chuyển của các photon vô tuyến của bức xạ nền từ bên ngoài Siêu thiên hà vào bên trong (nơi có dải Ngân Hà), do đó các nhà thiên văn học trên Trái Đất trong tương lai sẽ không bao giờ quan sát được bức xạ đó nữa[1]. Đối với những con cháu xa xôi của chúng ta, câu chuyện về Big Bang, sự giãn nở của vũ trụ, vật chất tối và năng lượng của chân không sẽ giống như một huyền thoại tuyệt vời về một nền văn minh cổ xưa đã biến mất, được tưởng tượng ra để giải thích nguồn gốc của thế giới, nhưng không dựa trên bất kỳ quan sát thực tế nào.

Vật lý hiện đại đã dạy chúng ta rằng chân không là nguồn gốc của tất cả mọi thứ: vũ trụ được sinh ra từ chân không, tất cả các thành phần của vũ trụ cũng xuất phát từ chân không và chân không cũng quy định chuyển động của nó. Sau đây chúng ta sẽ thấy rằng, thật đáng kinh ngạc, quan niệm này về thế giới lại rất gần với các truyền thống tâm linh lớn của phương Đông: Ấn Độ giáo, Đạo giáo và Phật giáo.

---

1 Mô tả chi tiết hơn về tương lai của một vũ trụ đang tăng tốc giãn nở, có thể xem thêm *A Univers from Nothing* (Một vũ trụ từ hư vô) của Lawrence Krauss, 2012.

VI.

Đạo của cái Không

Tri thức lý tính, tri thức huyền bí

Liệu có mối liên hệ gì giữa tri thức khoa học với các truyền thống tâm linh phương Đông không? Cách tiếp cận thực tế của hai lĩnh vực đó thoạt nhìn dường như hoàn toàn đối lập. Để đột phá những bí mật của tự nhiên, nhà khoa học chủ yếu dựa vào trí tuệ và lý trí của mình. Bằng cách sử dụng những công cụ tinh xảo để thu thập các dữ liệu quan sát và thực nghiệm – từ các kính thiên văn dùng cho những cái vô cùng lớn, đến các kính hiển vi hoặc máy gia tốc hạt dùng cho những cái vô cùng bé – họ không ngừng đo đạc, phân chia, phân loại, phân tích hay so sánh để nghiên cứu hiện thực. Để diễn tả các quy luật tự nhiên, họ sử dụng một ngôn ngữ đã phát triển rất cao là toán học. Trực giác không phải là thứ vắng mặt trong khoa học, nhưng nó chỉ hữu ích nếu được hỗ trợ bởi một mô hình hoặc một lý thuyết được xây dựng trong một cấu trúc toán học chặt chẽ và nhất quán. Cách tiếp cận của khoa học về cơ bản là mang tính quy giản luận: nó dựa

trên ý tưởng cho rằng tự nhiên có thể được phân chia thành các bộ phận, mỗi bộ phận có thể được nghiên cứu một cách độc lập, và chỉ cần nghiên cứu những thuộc tính của các bộ phận là có thể hiểu được tính chất của toàn thể. Nếu phân tích một phần nhỏ của vũ trụ mà không hiểu được toàn thể, thì khoa học không thể phát triển. Ví dụ, tôi sẽ không thể thực hiện công việc của mình với tư cách một nhà thiên văn, nếu tôi hiểu được quỹ đạo của Trái Đất quay xung quanh Mặt Trời, mà không tính đến tương tác hấp dẫn của tất cả các ngôi sao và các thiên hà trong vũ trụ. Mặc dù khoa học đương đại đã chứng tỏ một thực tế là vũ trụ tạo thành một tổng thể phụ thuộc lẫn nhau một cách khăng khít, nhưng phương pháp quy giản luận đã cho thấy nó rất hiệu quả.

Trái lại, nhà hiền triết không có ý định phân mảnh thực tại thành các phần nhỏ, mà lại cố gắng nắm bắt thực tại trong tính tổng thể của nó. Cách tiếp cận của họ không phải theo cách quy giản luận mà là theo cách toàn diện. Họ không cần viện đến các dụng cụ đo lường tinh xảo và những quan sát phức tạp, vốn là cơ sở thực nghiệm của khoa học hiện đại. Dụng cụ duy nhất mà họ sử dụng chính là tâm trí của mình. Những phát biểu của các truyền thống tâm linh về thế giới hiện tượng không được diễn đạt bằng ngôn ngữ toán học có cấu trúc và phát triển cao. Chúng có bản chất định tính hơn là định lượng. Trực giác và kinh nghiệm nội tại đóng vai trò hàng đầu trong cách tiếp cận chiêm nghiệm hơn là trí tuệ và lý trí. Và trước hết, cách tiếp cận của khoa học và của tâm linh có bản chất hoàn toàn khác nhau: trong khi sự hiểu thấu thế

giới hiện tượng bên ngoài là mục tiêu hàng đầu của khoa học, thì sự hoàn thiện tồn tại bên trong để giảm bớt đau khổ và đạt được sự thanh thản và hạnh phúc mới là mối quan tâm chính của các truyền thống tâm linh. Chẳng hạn, Phật giáo quan tâm tới bản chất tối hậu của thế giới vật chất không phải là để hiểu cách vận hành của tự nhiên, mà vì khi đạt được chân lý tuyệt đối và xua tan được sự vô minh, chúng ta có thể giải phóng mình khỏi những khổ đau do việc gắn kết sai lầm bản thân với thực tại biểu kiến của thế giới bên ngoài, và nhờ vậy mà đạt được tiến bộ trong sự hoàn thiện nội tâm chúng ta.

Với phương pháp và mục tiêu khác biệt như thế, liệu có hợp lý khi ta so sánh quan điểm của khoa học và truyền thống tâm linh phương Đông về thực tại, và đặc biệt về chủ đề liên quan đến chúng ta ở đây: khái niệm cái Không? Câu trả lời khẳng định dứt khoát là có. Sự kết hợp tri thức lý tính và huyền bí chỉ có thể làm giàu có và phong phú thêm mà thôi. Nó chỉ có thể tạo ra các tổng hợp bất ngờ, các quan điểm mới và các câu hỏi mới. Như nhà vật lý Werner Heisenberg đã nói rất rõ: "Tham vọng vượt qua những đối lập, bao gồm việc tổng hợp thâu tóm cả hiểu biết lý tính và kinh nghiệm huyền bí về tính thống nhất, là chuyện thần thoại (*mythos*), là cuộc tìm kiếm, dù nói ra hay không, của thời đại chúng ta[1]."

---

[1] Werner Heisenberg, "Wolfgang Pauli's Philosophical Outlook" (Quan điểm triết học của Wolfgang Pauli), trong *Across the Frontiers* (Xuyên qua các biên giới).

Cái Không tràn đầy của phương Đông

Giống như ở phương Tây, khái niệm về hư vô và cái Không trong các truyền thống phương Đông xuất hiện trong bối cảnh các thần thoại về sự sáng thế. Chúng ta đã thấy rằng trong phần lớn những câu chuyện thần thoại phương Tây, vũ trụ không phải chuyển đổi từ hư vô sang một cái gì đó, từ không tồn tại đến hiện hữu, mà vũ trụ hầu như luôn luôn nảy sinh từ một môi trường đã có từ trước. Đối với người Hy Lạp, thể nền nguyên thủy là một trong bốn nguyên tố chính: thường là nước, nhưng cũng có thể là không khí, lửa, và đất, và được thêm vào một nguyên tố thứ năm là ether. Ý niệm cái Không và sự hỗn mang ban đầu gắn liền với nó đã tạo ra một nỗi sợ hãi siêu hình và phải lảng xa nó bằng mọi giá. Chúng ta đã thấy rằng chính vì sự sợ hãi hư vô mà số 0 đã không được phát minh bởi người Hy Lạp, bất chấp sự tiến bộ đầy ấn tượng của họ trong toán học.

Ngược lại với phương Tây, khái niệm cái Không đã được các nền văn minh phương Đông đón nhận một cách cởi mở. Chẳng hạn, nó đã đóng vai trò chủ đạo trong Ấn Độ giáo. Trong kinh *Rig-Veda* (thế kỷ 12-10 trước CN), một bộ sưu tập các kinh tụng ca của Ấn Độ cổ đại, được viết bằng tiếng Phạn khoảng năm 1500 đến năm 900 trước CN, và là một trong bốn bộ kinh kinh điển của Ấn Độ giáo, một thần thoại về sáng thế viết như sau:

Không có tồn tại đồng thời cũng không có không-tồn tại
Không có không gian cũng chẳng có bầu trời ở ngoài kia

Nó chứa gì? Nó ở đâu? Ai coi sóc nó?
Liệu nó có nước sâu, nước vô đáy?

Kinh *Rig-Veda* nói rằng ngay từ đầu "không có tồn tại". Nhưng nó cũng không khẳng định rằng mọi thứ lúc đầu đều chỉ là hư vô vì ngay sau đó, nó viết thêm: "Cũng không có không-tồn tại." Nói cách khác, cái Không nguyên thủy không phải là không có gì, mà là chứa đầy tiềm năng. Đó là những tiềm năng sẽ được hiện thực hóa để sinh ra vũ trụ và các thành phần của nó. Trong Ấn Độ giáo, vô số sự vật và hiện tượng bao quanh chúng ta và tạo nên hiện thực chính là biểu hiện của một nguyên lý sáng tạo ẩn phía sau, được gọi là *Brahman* trong tiếng Phạn. *Brahman*, nguồn gốc của vạn vật, thường được mô tả là trống rỗng và vô hình vô tướng. Nhưng không nên nhầm lẫn cái Không đó với hư vô vì *Brahman* là cốt lõi của mọi hình thái và nguồn gốc của mọi sự sống. Nó là ý thức vũ trụ hiện diện trong mọi vật. Nó là linh hồn phổ quát đối ngược với linh hồn cá nhân, được gọi là *atman*, được tái sinh và ở trong mỗi chúng ta. Kinh *Upanishad* miêu tả nó như sau:

Brahman là sự sống, Brahman là niềm vui,
Brahman là cái Không,
Thực chất niềm vui, không gì khác, chỉ là cái Không
Và cái Không thực chất, không gì khác, chỉ là niềm vui.

Ý tưởng về một cái Không đầy tràn là nguồn gốc của vạn vật cũng có mặt trong Đạo giáo. Sinh ra ở Trung Quốc vào thế

kỷ 5 trước CN, dòng tư tưởng này xuất hiện gần như đồng thời với Nho giáo. Hai trường phái tư tưởng này đại diện hoàn hảo cho hai thái cực bổ sung cho nhau của tính cách Trung Hoa: Nho giáo phản ánh phương diện thực dụng cao – làm thế nào sống trong xã hội, cư xử thế nào với người xung quanh, tôn kính tổ tiên thế nào... – trong khi Đạo giáo phản ánh phương diện siêu việt, lý tưởng chủ nghĩa của nó – làm thế nào vượt lên trên những đòi hỏi, những dằn vặt và mâu thuẫn của cuộc sống đời thường để đạt tới những đỉnh cao của minh triết. Đạo giáo là một triết lý của tự nhiên và của mối quan hệ giữa con người với tự nhiên: con người chỉ có thể nhận thức được nếu phù hợp với trật tự tự nhiên, nếu có thể buông mình theo trực giác và hành động một cách tự phát, không bị cản trở bởi các quy tắc xã hội. Ngược lại, xã hội đóng vai trò hàng đầu trong tư duy Nho giáo: "Đạo không ở bên ngoài con người... Người quân tử chỉ cần tự biến đổi mình và dừng lại ở đó.[1]" Khổng Tử (551-479 trước CN) là triết gia Trung Quốc đầu tiên đặt con người vào trung tâm suy ngẫm của mình. Để đạt được đức hạnh cao quý nhất (*nhân*), mỗi lời nói và cử chỉ của người quân tử phải được thực hiện trong mọi mối quan hệ xã hội theo những quy tắc hành xử nhất định (*lễ*), cho dù với gia đình, bạn bè hay cấp trên. Vì Đạo giáo liên quan đến thế giới tự nhiên và sự vận hành của nó, nên chúng ta sẽ xem xét các ý tưởng của Đạo này song song với những khám phá của khoa học hiện đại.

---

1 Anne Cheng, *Les Entretiens de Confucius* (Luận ngữ).

Lão Tử (khoảng thế kỷ 6 trước CN) và Trang Tử (khoảng thế kỷ 4 trước CN) thường được coi là cha đẻ của Đạo giáo. Đạo Đức Kinh, tác phẩm căn bản của Đạo giáo, được cho là của Lão Tử. Một bộ sưu tập cách ngôn, văn bản kinh điển tương đối ngắn này (năm ngàn từ), được viết một cách súc tích, sinh động và đầy chất thơ, mà theo nhà Trung Hoa học người Anh Joseph Needham thì nó là "đẹp nhất và sâu sắc nhất từng được viết bằng tiếng Hoa." Nam Hoa Kinh của Trang Tử là văn bản trọng yếu thứ hai của Đạo giáo, dài hơn Đạo Đức Kinh. Sự tồn tại lịch sử của hai nhà tư tưởng này đã bị nghi ngờ bởi một số học giả đương đại. Họ đưa ra giả thuyết cả Đạo Đức Kinh và Nam Hoa Kinh đều không phải là tác phẩm của một người, mà là kết quả tập thể của nhiều tác giả kế tiếp nhau theo thời gian.

Cái Không và Đạo giáo

Đạo là gì theo Đạo giáo? Chúng ta có thể dịch từ này là "Con đường" hay "Phương pháp". Con đường của cái gì? Của vũ trụ[1]. Các nhà Đạo giáo tin rằng có một thực tại tối hậu của vũ trụ, khác với thực tại biểu kiến mà các giác quan của chúng ta cảm nhận. Thực tại tối hậu này tiến hóa và thay đổi

---

[1] Sau đó, các nhà Nho, luôn quan tâm tới sự hòa nhập của con người vào xã hội, sẽ mở rộng khái niệm Đạo. Họ nói về "Đạo của người quân tử", hay nói cách khác là Con đường chính đáng, được quy định bởi các nguyên tắc đạo đức.

không ngừng. Vũ trụ giống như một dòng chảy rộng lớn của các sự kiện và rất sống động, tất cả đều được kết nối với nhau và tương tác liên tục. Mọi thay đổi, mọi vận động, tất cả đều là vô thường. Thay đổi là phổ biến và vĩnh viễn.

Không phải là dễ dàng để định nghĩa được Đạo. Nó dường như luôn vuột khỏi tay chúng ta ở chính thời điểm mà bạn nghĩ rằng đã nắm được nó. Lão Tử đã nói:

Là một thứ hỗn độn tạo thành,
sinh ra trước Trời Đất.
Yên lặng, hư không, đứng một mình mà không đổi.
Vận động tuần hoàn không nghỉ.
Có thể xem là mẹ của Trời Đất.
Ta không biết tên của nó, miễn cưỡng viết chữ là Đạo[1].

Trang Tử cũng nhấn mạnh tính chất không thể xác định này: "Đạo không thể thấy được; cái gì thấy được thì không phải là Đạo. Đạo không thể đem ra giảng được; cái gì giảng được thì không phải là Đạo... Nội cái việc hỏi về Đạo đã đủ tỏ rằng chưa nghe gì về Đạo. Đạo thì không thể đem ra hỏi được, mà hỏi thì không trả lời được. Đã không thể hỏi mà còn hỏi thì câu hỏi đó rỗng không, đã không đáp được mà còn đáp thì lời đáp đó vô nghĩa. Dùng lời vô nghĩa mà đáp một câu hỏi rỗng không, như vậy là ngoài thì không quan sát vũ trụ, trong thì không biết nguồn gốc, tất không vượt được núi Côn Lôn,

---

[1] Đạo Đức Kinh, chương 25.

mà ngao du ở cõi Thái Hư[1]". Trong đoạn này triết gia Trung Quốc thể hiện sự nghi ngờ của Đạo giáo về tri thức lý tính, nghi ngờ về việc đạt được chân lý tối hậu chỉ bằng lý trí. Đạo khó có thể được định nghĩa bằng lời, nó chống lại các phân tích bằng lý luận, nó không chấp nhận việc phẫu tích thành các câu hỏi và trả lời.

Trong đoạn văn này, Trang Tử gắn kết một cách tường minh Đạo với "Thái Hư, tức cái Không tối thượng". François Cheng đã cố gắng làm rõ mối quan hệ này: "Có thể nói, một cách rất đơn giản, rằng so với cái Không, Đạo có nội dung tổng quát hơn. Đôi khi nó đại diện cho nguồn gốc, khi đó nó dễ bị nhầm lẫn với cái Không; đôi khi nó lại là một biểu hiện của cái Không này; đôi khi nữa, theo một nghĩa rộng hơn, nó bao gồm toàn bộ vũ trụ cố hữu[2]."

Đạo là "Mẹ của vũ trụ" theo Lão Tử. Giống như Ấn Độ giáo, điều quan trọng là không nên nhầm lẫn cái Không (còn gọi là "Không có gì") với hư vô: "Chứa đựng sự hứa hẹn của Tất cả, Không có gì có nghĩa là Không tồn tại, và sự Không tồn tại này chính là nơi mà Tồn tại đến từ đó. Khái niệm Không tồn tại là tất yếu bởi vì phải từ nó chúng ta mới có thể thực sự hình dung được Tồn tại[3]", François Cheng giải thích. Khái

---

1 *Nam Hoa Kinh*, chương Trí Bắc Du trích bởi François Cheng, *Vide et Plein. Le langage pictural chinois* (Trống rỗng và tràn đầy. Ngôn ngữ tượng hình Trung Hoa).

2 Sđd

3 François Cheng, *Cinq méditations sur la mort* (Năm suy ngẫm về cái chết).

niệm về cái Không tràn đầy theo Đạo giáo là nguồn gốc của tất cả mọi thứ, từ Không tồn tại tạo ra Tồn tại, có một sự cộng hưởng tuyệt vời với những gì mà vũ trụ học hiện đại đã nói với chúng ta. Hãy nhớ rằng, vật lý học mà ta đã biết (chi phối vũ trụ kể từ sau thời điểm Planck 10^{-43} giây) cũng nói với chúng ta rằng vũ trụ xuất phát từ một chân không nguyên thủy. Giống như cái Không của Đạo giáo không phải là hư vô, chân không vũ trụ không phải là không có gì, mà là đầy ắp. Vũ trụ nguyên thủy chứa đầy một trường năng lượng gọi là "trường Higgs", bị chặn trong một trạng thái giả chân không, tạo nên một lực đẩy khổng lồ, gây ra sự lạm phát điên cuồng của vũ trụ. Do chân không tràn đầy gây ra cái "bang" của Big Bang, các nhà vũ trụ học có thể kết luận, như Đạo giáo, rằng chân không là mẹ của vũ trụ, và chính cái Không tồn tại đã sinh ra cái Tồn tại.

Đạo sinh Một

Với Đạo giáo, chính cái Không sinh đã sinh ra vạn vật trong vũ trụ. Một đoạn rất nổi tiếng trong chương 42 của Đạo Đức Kinh đã miêu tả sự tiến hóa này như sau:

Đạo sinh *Một*
Một sinh Hai
Hai sinh Ba
Ba sinh Vạn vật
Vạn vật cõng âm

Và bồng dương
(Hai) khí xung nhau mà lại hòa[1].

"Đạo sinh Một". Quan điểm hợp nhất nguyên thủy này của thế giới không chỉ thuộc về riêng Đạo giáo. Các truyền thống tâm linh lớn khác của phương Đông như Phật giáo hay Ấn Độ giáo cũng nhấn mạnh tính không thể phân tách của thực tại của thế giới. Và ý tưởng này cũng hài hòa với quan niệm của khoa học về vũ trụ. Dần dần theo các phát hiện khoa học, theo sự chỉ đường của cái đẹp và đối xứng[2], các nhà vật lý đã thống nhất được các hiện tượng tưởng như hoàn toàn tách biệt. Aristotle đã nghĩ rằng Trời và Đất bị chi phối bởi các định luật hoàn toàn khác nhau – mọi vật chuyển động theo đường thẳng trên Trái Đất trong khi các thiên thể chuyển động theo đường tròn trên bầu trời. Vào thế kỷ 18, Newton đã xóa bỏ sự phân biệt đó của Aristotle và thống nhất đất với trời bằng cách chứng minh rằng chính quy luật vạn vật hấp dẫn đã giải thích được cả sự rơi của quả táo và chuyển động của các hành tinh xung quanh Mặt Trời. Tiếp sau đó, khi âm thanh được công nhận chẳng qua cũng chỉ là một sóng lan truyền qua không khí, thì tới lượt âm học trở thành một bộ phận của cơ học Newton. Vào thế kỷ 19, Maxwell phát hiện ra rằng điện và từ chỉ là hai mặt của cùng một thực tại. Ngoài ra, bằng cách

---

1 Sđd

2 *Le Chaos et l'Harmonie* (Hỗn độn và Hài hòa, NXB Trẻ 2013) của cùng tác giả.

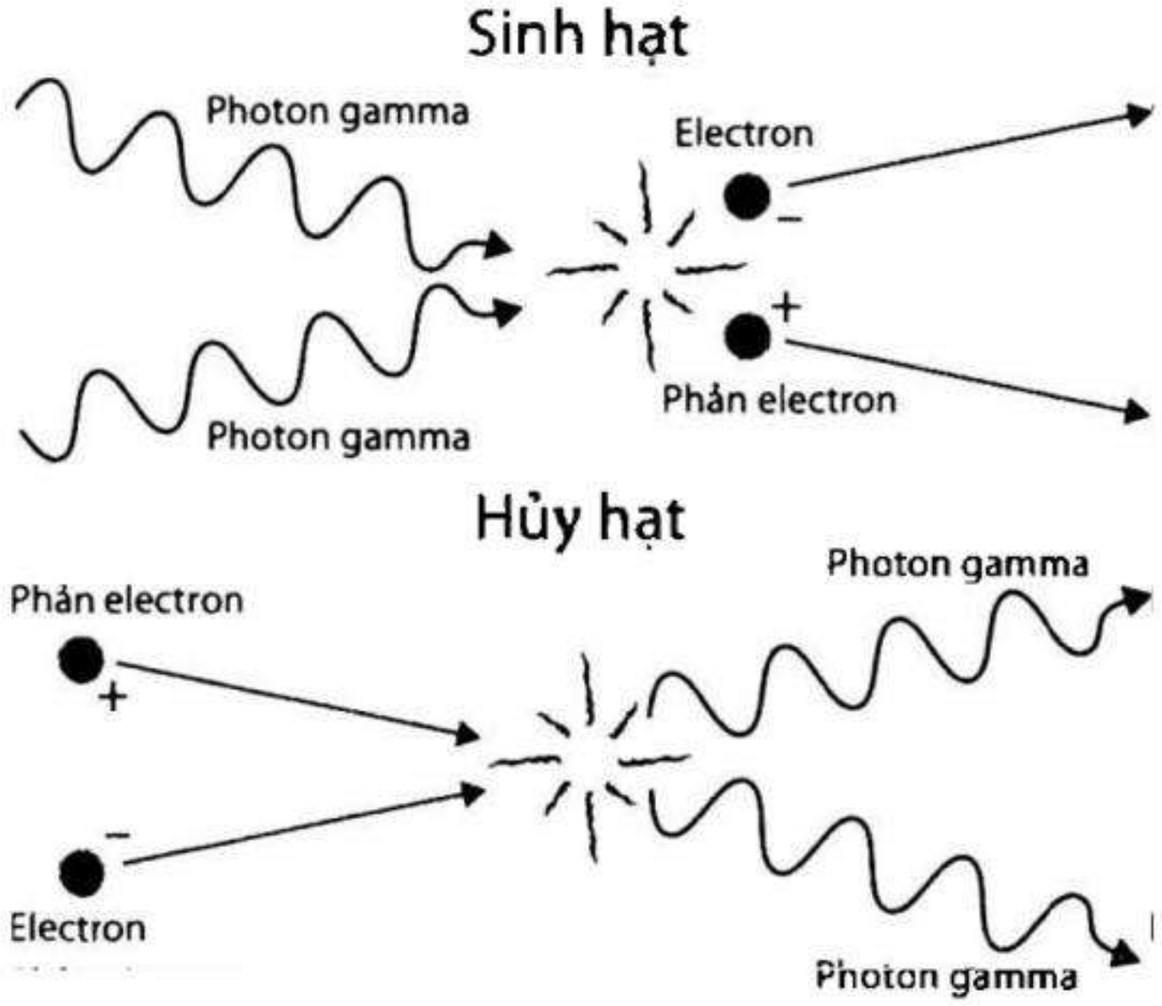
chứng minh được rằng sóng điện từ không gì khác chính là sóng ánh sáng, ông đã thống nhất quang học với điện từ học. Vào thế kỷ 20, Einstein đã thống nhất thời gian và không gian. Chúng ta sống trong vũ trụ bốn chiều: để định vị bạn, không những phải chỉ ra ba tọa độ không gian mà còn cần tới thời gian được đo tại vị trí này.

Vào đầu thế kỷ 21, các nhà vật lý tin rằng ở thuở ban đầu của vũ trụ, khi nó nóng hơn tất cả các địa ngục có thể tưởng tượng được, bốn lực cơ bản chi phối thế giới hiện nay được thống nhất thành một siêu lực duy nhất. Sự nguội đi của vũ trụ đã phá vỡ sự thống nhất đó và làm cho chúng tách riêng ra. Giống như Đạo giáo, vật lý hiện đại đảm bảo với chúng ta rằng mọi thứ đều xuất phát từ cái Một.

Sự tiến hóa của vũ trụ

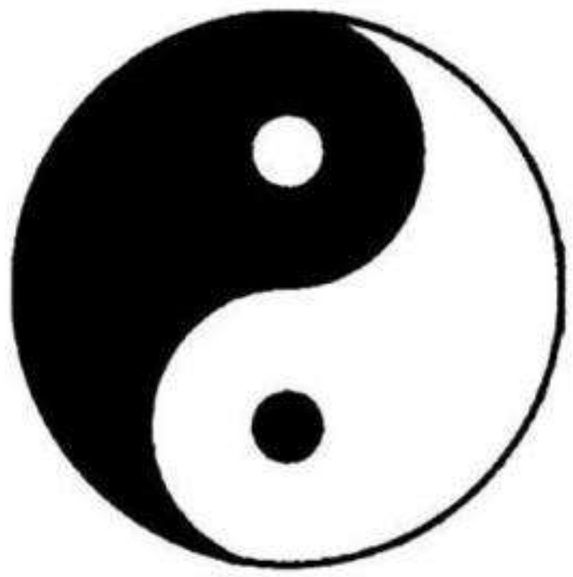
Đoạn trích dẫn ở trên của Đạo Đức Kinh đã mô tả cho chúng ta thấy làm thế nào mà xuất phát từ cái Một, vũ trụ đã phát triển thành nhiều, từ đồng nhất trở nên đa dạng và phức tạp: Một sinh Hai, Hai sinh Ba, Ba sinh Vạn vật. Cũng như vậy, vũ trụ học hiện đại cho chúng ta biết rằng lịch sử của vũ trụ là lịch sử tạo dựng vật chất, khi tiến hóa từ cái đơn giản nhất đến cái phức tạp nhất. Nó cung cấp cho chúng ta một kịch bản chính xác và chi tiết về bộ sử thi tuyệt vời của vũ trụ trải dài trong suốt khoảng 14 tỷ năm, và đó cũng là lịch sử của chúng ta bởi vì nó dẫn đến sự xuất hiện con người. Từ một chân không siêu nhỏ chứa đầy năng lượng, vật chất và phản

vật chất sinh ra dưới dạng các hạt cơ bản (quark và electron) và phản hạt. Nhiệt độ cực hạn của vũ trụ nguyên thủy khiến các hạt và phản hạt va chạm mãnh liệt để tiêu hủy thành ánh sáng. Các hạt ánh sáng, đến lượt mình, biến mất để trở thành cặp hạt-phản hạt (hình dưới). Việc sinh và hủy của vật chất và phản vật chất xảy ra kế tiếp nhau theo các vòng sinh tử chỉ trong một khoảng thời gian vô cùng ngắn ngủi.



Sự sinh vật chất (ở đây là các electron) và phản vật chất (ở đây là các phản electron, tức positron) từ ánh sáng (các photon gamma) và sự hủy của chúng thành ánh sáng kế tiếp nhau theo nhịp điệu của địa ngục trong vũ trụ nguyên thủy.

Sự tương tác vật chất-phản vật chất trong vũ trụ nguyên thủy cũng giống như tác động của cặp Âm-Dương được mô tả trong Đạo giáo. Theo quan điểm Đạo giáo, thế giới được hình thành như là kết quả của sự tương tác động và tương hỗ của hai lực có liên quan chặt chẽ này, trong lực này chứa mầm mống của lực kia và kế tiếp nhau một cách tuần hoàn (hình trang sau). François Cheng mô tả sự tương tác của cặp đôi Âm-Dương như sau: "Từ



Cặp đôi Âm-Dương. Trong Đạo giáo, vũ trụ được định hình bởi tương tác động và tương hỗ của hai lực thái cực, Âm (màu đen) và Dương (màu trắng). Cái này chứa mầm mống của cái kia và nối tiếp nhau một cách tuần hoàn.

Đạo gốc, được coi là cái Không tối thượng (Thái Hư), sinh ra Một là Khí ban sơ, từ đó tạo ra hai khí tương hỗ là Âm và Dương: rồi qua sự kết hợp hài hòa của âm dương tạo ra Hòa khí và sinh ra vạn vật[1]." Như vậy vũ trụ tuân theo một chuyển động tuần hoàn vĩnh cửu, Dương đạt đến đỉnh cao sẽ nhường chỗ cho Âm, rồi tới lượt mình Âm sẽ được thay thế bằng Dương sau khi đã đạt đến mức tối đa. Sự tương tác hài hòa của cặp Âm-Dương được thể hiện trong nhiều tình huống: bầu trời gắn liền với Dương, sức mạnh nam giới, mạnh mẽ và sáng tạo, trong khi Trái Đất được thể hiện bằng Âm, yếu tố nữ tính, người mẹ và trực giác; Mặt Trời, nóng và sáng, là Dương, Mặt Trăng, ấm áp và tối tăm, là Âm; mùa hè tươi sáng và nóng tiếp sau mùa đông ảm đạm và lạnh lẽo, bóng đêm tiếp nối ánh sáng ban ngày, vật chất Dương và phản vật chất Âm, rất nhiều ví dụ về sự tương tác của cặp đôi Âm-Dương.

Liên quan đến cặp vật chất-phản vật chất, vũ trụ học hiện

---

[1] François Cheng, *Cinq méditations sur la mort* (Năm suy ngẫm về cái chết).

đại dạy chúng ta rằng không có sự đối xứng hoàn hảo giữa số lượng hạt và phản hạt. Nếu có, thì toàn bộ vật chất và phản vật chất sẽ bị hủy hoàn toàn, và như vậy, trong vũ trụ sẽ chỉ còn ánh sáng. Các thiên hà, sao, hành tinh và con người sẽ không thể xuất hiện. Vũ trụ sẽ trống rỗng và khô cằn, hoàn toàn không có tiếng chim hót và tiếng cười con trẻ. May mắn thay, tự nhiên lại ưu ái vật chất hơn một chút, chỉ cỡ phần tỷ lần, so với phản vật chất, do đó trong vũ trụ hiện tại cứ mỗi tỷ photon lại có một hạt vật chất. Lý do của sự ưu ái này – mặc dù rất bé – đối với vật chất so với phản vật chất hiện vẫn đang còn là một bí ẩn. Dẫu sao thì có một thực tế là chắc chắn: đối xứng hoàn hảo là cằn cỗi trong khi một sự phá vỡ nhỏ của đối xứng lại rất mầu mỡ, phì nhiêu.

"Ba sinh Vạn vật. Vạn vật cõng âm và bồng dương." Mô tả súc tích này về sự tiến hóa của vũ trụ trong Đạo Đức Kinh đã được minh chứng bởi vật lý thiên văn hiện đại. Nó cho chúng ta một bức bích họa lịch sử vĩ đại mà trong đó, từ quark và electron, những kẻ sống sót sau sự hủy diệt của vật chất và phản vật chất, vũ trụ sẽ dần dần tạo ra các nguyên tử (hydrogen và helium), các phân tử, sao, thiên hà và các hành tinh. Trên một hành tinh tên là Trái Đất, sự sống và ý thức sẽ xuất hiện.

Sự tương tác không ngừng giữa Không và Doanh

Như vậy, cái Không có xu hướng tiến tới đầy: "Không là gốc của Đạo, ngoài ra nó còn là điều kiện của sự hòa hợp trong tiến trình của Đạo. Dựa vào Không tức là theo hướng của Đạo,

Đạo không ngừng dịch chuyển từ Không sang Doanh (tràn đầy) rồi quay trở lại Không, nơi Khí nguyên thủy làm mới lại chính mình... Tồn tại không chỉ đơn giản là theo dòng chảy của sự tồn tại, mà là liên tục thực hiện hành động tồn tại, từ sự không tồn tại[1]". Đạo giáo thường đề cập tới cặp đôi Không-Doanh bằng hình ảnh của thung lũng và nước, giống như khí ban sơ, "thâm nhập khắp mọi nơi và tác động đến mọi thứ". Lão Tử so sánh Không với thung lũng: nó như hõm, rỗng ở giữa lòng núi – đầy – bao quanh nó, nhưng tự nó cũng là đầy vì chứa mọi thứ trong lòng nó, cây cối, sông suối... (hình 13 trong tập ảnh màu). Doanh làm cho vật chất hiển hiện và rõ ràng, nhưng chính Không mới tạo nên cấu trúc sự tồn tại và tác dụng của nó[2]. Đối với Trang Tử, "Thung lũng là nơi mà đổ mãi không bao giờ đầy và nơi rút mãi không bao giờ cạn".

Hội họa Trung Quốc cổ đại minh họa một cách tinh tế sự tương tác đó giữa Không và Doanh. Được coi là một hoạt động thiêng liêng, nó tiến hóa từ truyền thống hiện thực chủ nghĩa đến một quan niệm ngày càng mang tính chất tâm linh. Ở đây, thuật ngữ này không ám chỉ một bức tranh tôn giáo, chẳng hạn như các thể hiện về Chúa trong hội họa phương Tây hay Đức Phật trong các bức tranh Phật giáo, mà chính bản thân hành động vẽ là hành động tâm linh: "Hội họa không chỉ đơn thuần là để tái tạo vẻ bên ngoài của sự vật, nó tìm cách nắm bắt các đường nét bên trong và các mối quan hệ ẩn giấu giữa

---

1 Sđd.

2 François Cheng, *Vide et Plein* (Trống rỗng và Tràn đầy).

chúng[1]." Nói cách khác, hội họa Trung Quốc cổ đại, chủ yếu lấy nguồn cảm hứng từ Đạo giáo, không chỉ nhằm mục đích thẩm mỹ mà còn nhằm phát lộ bí mật của vũ trụ. Bằng cách đưa ra một biểu diễn của không gian nơi mà các dòng "khí thiết yếu" chảy khắp, nó muốn làm sáng tỏ mối quan hệ sâu sắc của con người với vũ trụ và làm rõ những ý nghĩa cơ bản của vận mệnh con người: "Nếu vũ trụ bắt nguồn từ Khí nguyên thủy và duy trì nhờ Khí thiết yếu, thì hội họa cũng trở nên sống động nhờ các khí này... Tương quan với khái niệm khí, khái niệm Âm-Dương chính là biểu hiện của các định luật động chi phối tất cả. Từ Âm-Dương, ý tưởng phân cực được sinh ra trong hội họa: Trời-Đất, Núi-Nước, Xa-Gần... (Điều này) chỉ có thể thực hiện được nhờ một yếu tố luôn tiềm ẩn: đó là cái Không. Trong hội họa cũng như trong vũ trụ, không có Không, khí sẽ không lưu thông, Âm-Dương sẽ không hoạt động. Nếu không có nó, Nét bút, hàm nghĩa là thể tích và ánh sáng, nhịp điệu và màu sắc, không thể biểu hiện tất cả các tiềm năng của nó. Vì vậy, khi vẽ một bức tranh, Không tác động tới ở tất cả các cấp độ, từ các nét vẽ cơ bản đến bố cục tổng thể... Đối mặt với Doanh, Không là một thực thể sống. Động lực của tất cả mọi thứ, nó thậm chí tác động cả vào bên trong của Doanh, bằng cách thổi vào những luồng khí thiết yếu[2]."

Cặp đôi Âm-Dương có mối liên hệ mật thiết với cặp đôi Không-Doanh: "Âm-Dương chi phối luật động của Thực tại

---

1 Sđd

2 Sđd

được đánh dấu bởi Doanh, Không là nơi diễn ra sự chuyển đổi[1]". Hòa khí, khí "ở giữa" lấy sức mạnh từ Không nguyên thủy, cho phép cặp Âm-Dương tương tác với nhau, đưa chúng về phía nhau tạo nên một "biến đổi có lợi" và một sự hài hòa màu mỡ. Nói cách khác, không có sự hiện diện của Hòa khí, cặp đôi Âm-Dương không thể tác động tới Doanh hay cũng chính là tới vũ trụ của vật chất và bản thể, và không gì có thể hoạt động và tiến hóa được. Mọi thứ sẽ bị đóng băng trong sự bất động cằn cỗi. Hòa khí là phần tử thiết yếu thứ ba của cặp đôi Âm-Dương, và bộ đôi đã trở thành bộ ba. Bộ ba này hòa nhập với Đạo thành một. Do đó chúng ta thấy mình đối mặt với hai phương trình nghịch lý: $2 = 3$ và $3 = 1^3$.

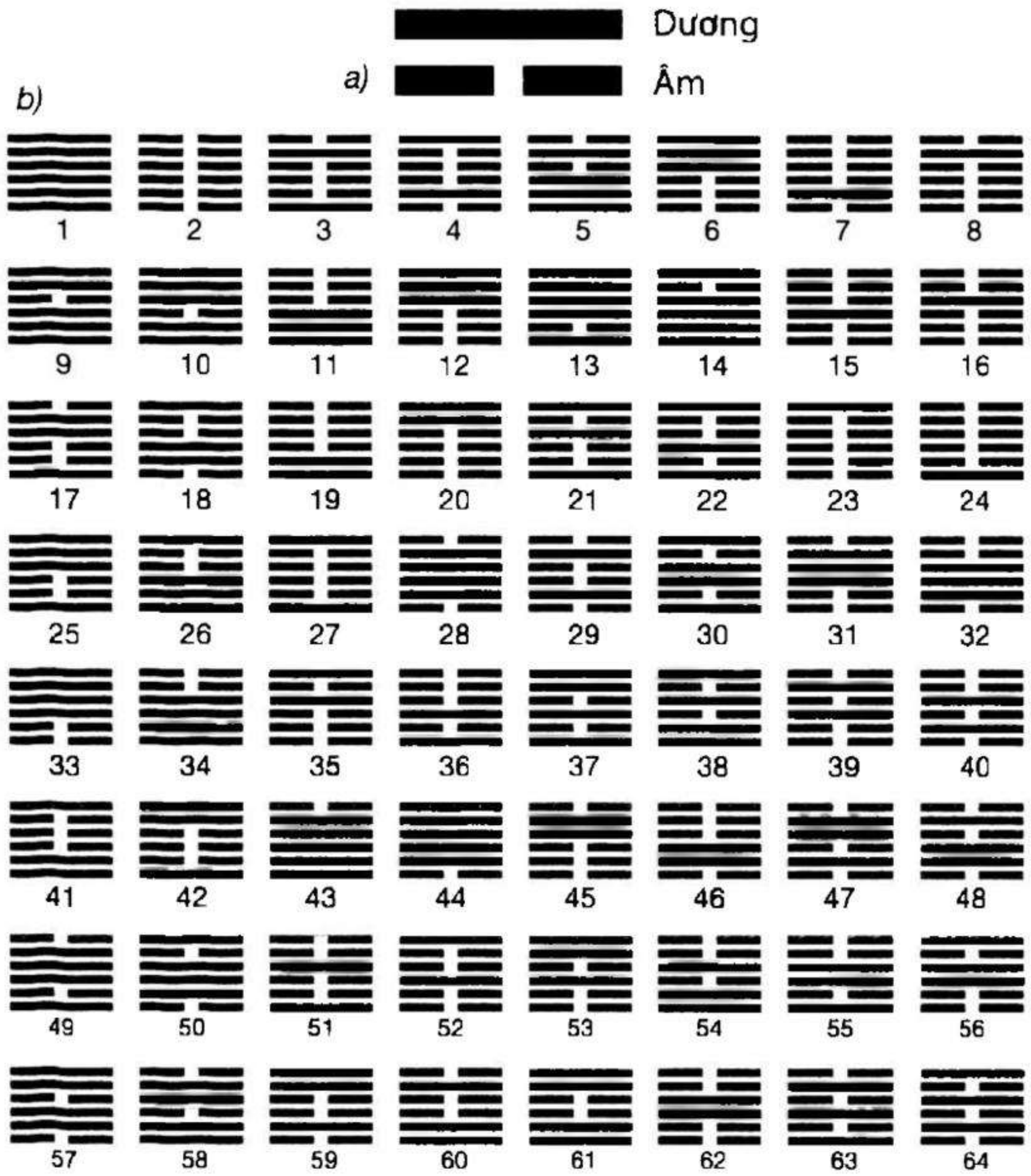
Một vũ trụ luôn tiến hóa

Ý tưởng về sự tương tác liên tục giữa Không và Doanh, nói cách khác là giữa không tồn tại và tồn tại, ngụ ý sự chuyển đổi không ngừng của các hiện tượng tự nhiên. Do Không không ngừng tiến hóa hướng về Doanh và ngược lại, nên không gì có thể vĩnh cửu và bất biến. Ý tưởng về sự chuyển đổi không ngừng này đã xuất hiện rất sớm, người ta tìm thấy nó trong Kinh Dịch. Được coi là một trong những cuốn sách quan trọng nhất của tư tưởng phổ quát, Kinh Dịch bắt đầu từ thiên niên kỷ thứ nhất trước CN. Tích lũy hàng ngàn năm trí tuệ của Trung Hoa, ban đầu nó là một bộ sưu tập của 64 ký hiệu,

---

[1] Sđd

được gọi là "quẻ", dựa trên biểu tượng của Âm và Dương của Không và Doanh, và ban đầu được các nhà tiên tri sử dụng. Trong các quẻ, Doanh gắn với dương, là một nét liền trong



64 quẻ của Kinh Dịch. a) Trong đó, Dương được biểu diễn bởi một nét liền và Âm bởi một nét đứt; b) Một quẻ được tạo từ hai quái chồng lên nhau, mỗi quái có ý nghĩa riêng của nó, chứ không phải là một loạt sáu vạch. Mỗi quẻ biểu diễn một trạng thái hay tiến trình vũ trụ, được tạo ra bởi sự tương tác động của cặp đôi Âm-Dương, không chỉ có trong vũ trụ, mà còn trong các mối quan hệ giữa con người.

khi Không, gắn với Âm, là một nét đứt. Chính cái Không này tạo ra các biến đổi trong vũ trụ. Các quẻ này biểu hiện bản chất vô thường của vũ trụ, sự chuyển động của các hiện tượng tự nhiên trong những biến đổi của chúng. Như có sự chuyển đổi liên tục của các dấu hiệu hướng về nhau, các hiện tượng này không ngừng phát triển từ hình thức này sang dạng khác. Kinh Dịch, như Đạo giáo sau này, cố gắng giải thích những thay đổi không ngừng trong tự nhiên, cũng như mối quan hệ luôn thay đổi và biến động giữa con người.

Khái niệm về sự chuyển dịch, thay đổi vĩnh cửu này phù hợp với quan niệm của vũ trụ học hiện đại: vũ trụ đang không ngừng tiến hóa, trái ngược hẳn với quan điểm của Aristotle. Aristotle tin rằng bầu trời, cõi giới của Thượng Đế, phải hoàn hảo và không gì có thể thay đổi được nữa, bởi vì không thể cải thiện cái hoàn hảo được. Vào những năm 1950, lý thuyết vũ trụ tĩnh vẫn cho rằng vũ trụ về trung bình là không thay đổi theo thời gian cũng như không gian. Chỉ đến năm 1965, sau khi khám phá ra bức xạ hóa thạch, lý thuyết Big Bang mới chiếm ưu thế. Nó quét sạch ý tưởng về một vũ trụ tĩnh và không thay đổi, mang lại cho vũ trụ một lịch sử: vũ trụ có quá khứ, hiện tại và tương lai. Sinh ra trong một vụ nổ lớn từ trạng thái cực nóng và đặc, vũ trụ giãn nở không ngừng và sự giãn nở có gia tốc của không gian sẽ tiếp tục làm giảm mật độ của vũ trụ và làm cho nó nguội đi tới khi thời gian kết thúc. Không chỉ vũ trụ thay đổi, mà tất cả các cấu trúc chứa trong nó cũng đang thay đổi. Từ các hành tinh đến các sao, thiên hà đến đám thiên hà, không có gì là vĩnh viễn. Các ngôi sao

được sinh ra, sống bằng cách tiêu hao nhiên liệu hydrogen và helium, và khi chết phóng các khí giàu nguyên tố hóa học do các lò giả kim thuật hạt nhân tạo ra vào không gian giữa các vì sao. Khí này rồi sẽ co sập lại dưới tác dụng của lực hấp dẫn để sinh ra một thế hệ sao mới, và một vòng đời mới lại bắt đầu. Nhưng vòng đời sinh tử của các ngôi sao không được đo bằng bách niên (trăm năm) như cuộc đời của con người, mà bằng hàng triệu, hàng tỷ năm.

Mọi thứ không chỉ thay đổi, mà còn luôn vận động. Các hành tinh, sao, thiên hà hoặc các cụm thiên hà đang miên man chuyển động trong một vũ điệu vũ trụ tuyệt vời. Vào khoảnh khắc khi bạn đang đọc những dòng này, Trái Đất đưa bạn đi qua không gian với tốc độ khoảng 30 km mỗi giây trong hành trình hằng năm của nó quanh Mặt Trời. Đồng thời, Mặt Trời cũng đưa hành tinh của chúng ta di chuyển với tốc độ khoảng 233 km/s xuyên qua không gian giữa các vì sao của dải Ngân Hà, do ngôi sao của chúng ta quay trọn một vòng xung quanh tâm của Ngân Hà mất 250 triệu năm. Thiên hà của chúng ta lại dịch chuyển về phía thiên hà Andromeda với tốc độ 90 km/s do lực hút hấp dẫn của nó. Và vẫn chưa hết: ngoài ra còn có chuyển động của Cụm địa phương và Siêu đám địa phương chồng lên các chuyển động giãn nở của vũ trụ.

Thế giới của các hạt cơ bản cũng không ngoại lệ. Vật lý học đương đại dạy chúng ta rằng ở thế giới này cũng vậy, mọi thứ đều là vô thường. Phần lớn các hạt đều không bền: chúng sẽ tự phân hủy. Chẳng hạn, một neutron tự do, khi không bị cầm tù trong một hạt nhân nguyên tử, sẽ biến thành proton sau

khoảng mười lăm phút, đồng thời phát ra một electron và một neutrino. Hầu hết các hạt xuất hiện trong lòng của máy gia tốc chỉ sống ngắn hơn cả chớp mắt – một phần triệu giây hoặc thậm chí còn ngắn hơn – và biến mất. Những hạt bền nhất, chẳng hạn như electron, photon hoặc neutrino, không sống cô lập, và sớm hay muộn, sự tương tác với các hạt khác sẽ làm thay đổi bản chất của chúng hoặc làm chúng biến mất. Như cái Không đột biến thành Tràn đầy và ngược lại, năng lượng của một hạt có thể chuyển thành vật chất, hoặc ngược lại, vật chất có thể trở thành ánh sáng bằng cách hủy diệt chính nó với phản vật chất. Vô số các hạt ảo sống trong không gian xung quanh chúng ta do nguyên lý bất định của năng lượng. Xuất hiện và biến mất theo vòng sinh tử trong một khoảng thời gian vô cùng ngắn ngủi, chúng thể hiện ở mức cao nhất sự vô thường của thế giới, nơi mà mọi thứ chỉ là đột biến và chuyển đổi.

Con người và cái Không

Theo tư duy Đạo giáo, khái niệm Không áp dụng không chỉ đối với vũ trụ mà còn đối với cả con người. Con người không chỉ là máu và thịt, mà còn là khí và tinh thần, đồng thời cũng là nơi cư ngụ của Không. Và thông qua Không, con người có thể cảm nhận được cái Không nguyên thủy, trở thành tấm gương phản chiếu thế giới, hiểu được nhịp điệu của thời gian và không gian, và nắm vững các quy luật chuyển hóa: "Không, vừa có mặt ở gốc vừa ở trung tâm của tất cả mọi thứ, bảo đảm

cho sự hoạt động đúng đắn của sự sống trong khuôn khổ thời gian-không gian. Theo mức độ mà ở đó thời gian sống chỉ là sự thực tại hóa của không gian thiết yếu, Không giống như một kiểu điều tiết làm biến đổi mỗi giai đoạn của cuộc sống thành một không gian được các khí thiết yếu làm cho sống động – điều kiện tiên quyết để duy trì được vận may, để có một sự tràn đầy thực sự, để có một cuộc sống thực sự không phải chỉ là một chiều... Khi đưa sự gián đoạn vào trong dòng chảy của thời gian, Không sẽ tái đầu tư, theo một cách nào đó, chất lượng của không gian trong thời gian, để đảm bảo nhịp điệu đúng của các khí và khía cạnh toàn diện của các mối quan hệ... Cái Không ngụ ý Nội hiện và Toàn thể[1]." Các khí thiết yếu, thúc đẩy cái Không sinh ra vũ trụ và sự sống, được Đạo giáo gọi là *khí*. Khái niệm này rất giống với quan niệm về trường của vật lý hiện đại. Tựa như *khí* lấp đầy cái Không của Đạo giáo, các trường gắn với các lực cơ bản và các hạt vật chất lấp đầy chân không vật lý.

Theo Đạo giáo, *khí* rất quan trọng đối với cuộc sống của chúng ta. Sức khỏe, cả thể chất cũng như tinh thần và đạo đức, phụ thuộc vào thực tế là *khí* đi qua cơ thể của chúng ta có hài hòa và thông suốt không. Chẳng hạn, trong cơ thể con người, các mạch lưu thông của *khí*, xác định bởi kinh mạch và huyệt đạo, tạo thành nền tảng của y học cổ truyền Trung Quốc: châm cứu. Mục đích của phương pháp này là tạo thuận lợi và kích thích sự lưu thông của *khí* thông qua các kinh

---

[1] Sđd

mạch đó[1]. Những nguyên lý này cũng áp dụng đối với Thái Cực quyền, võ thuật Đạo giáo, dùng sự trôi chảy của động tác kết hợp với hơi thở để kích thích sự lưu thông của *khí*.

Trong đoạn trích dẫn ở trên, François Cheng cũng nói về một "Thời gian sống chỉ đơn giản là sự thực tại hóa của không gian thiết yếu". Ý tưởng Đạo giáo cho rằng cặp không-thời gian là không thể tách rời và thời gian có thể được biến đổi thành không gian và ngược lại là một ý tưởng có tính báo hiệu. Khoảng 25 thế kỷ sau, Einstein sẽ chứng minh bằng thuyết tương đối của ông rằng thời gian và không gian không phải là tách biệt như trong vũ trụ của Newton. Vũ trụ hiện nay có bốn chiều, chiều thời gian thêm vào với ba chiều không gian. Thời gian và không gian đã mất đi tính cứng nhắc của chúng trong vũ trụ của Newton. Cả hai đều trở nên động, co giãn và dễ uốn, với các hành vi luôn bổ sung cho nhau. Không gian có thể được chuyển đổi thành thời gian và ngược lại khi bạn di chuyển rất nhanh hoặc đang ở trong một trường hấp dẫn mạnh. Đối với một người quan sát chuyển động với tốc độ gần tốc độ ánh sáng, không gian co lại và biến đổi thành một thời gian kéo dài hơn. Những biến dạng phối hợp này có thể được xem như một sự chuyển đổi không gian thành thời gian, với tỷ giá hoán đổi tại ngân hàng vũ trụ cực cao: cứ mỗi 300.000 km không gian, bạn sẽ chỉ nhận được một giây thời

---

1 Sự tồn tại của *khí* và sự lưu thông của nó trong cơ thể chúng ta vẫn chưa được chứng minh và hiểu một cách khoa học. Nó dựa trên kiến thức kinh nghiệm được tích lũy qua nhiều thế kỷ thực hành.

gian. Trong vũ trụ của Einstein, cũng như trong thế giới Đạo giáo, thời gian và không gian không còn phân tách được nữa.

Tính Không của Phật giáo hay là sự thiếu vắng tồn tại của bản ngã

Đạo giáo không phải là truyền thống tâm linh duy nhất ở phương Đông quan tâm tới khái niệm cái Không. Phật giáo cũng đã làm như vậy, nhưng theo một cách rất riêng. Đây là truyền thống tâm linh lớn của nhiều nước châu Á, bao gồm Myanmar, Campuchia, Trung Quốc, Hàn Quốc, Nhật Bản, Lào, Nepal, Sri Lanka, Thái Lan, Tây Tạng và quê hương tôi, Việt Nam. Mặc dù ra đời ở Ấn Độ, Phật giáo không còn là hình thức tâm linh thống trị ở đó nữa, một phần vì sự chống đối mãnh liệt của nó đối với hệ thống đẳng cấp ở đất nước này. Người sáng lập của Phật giáo, Siddhartha Gautama, Đức Phật (Bouddha, tức giác ngộ theo tiếng Phạn), sống vào thế kỷ 6 hoặc 5 trước CN (các nhà sử học còn chưa nhất trí), một khoảng thời gian đặc biệt trong lịch sử nhân loại với sự xuất hiện của nhiều nhân vật kiệt xuất khác – như Khổng Tử và Lão Tử ở Trung Quốc, cùng với các triết gia Hy Lạp vĩ đại – mà trí tuệ của họ vẫn còn dẫn dắt chúng ta ngày hôm nay.

Nếu Phật giáo cũng quan tâm đến bản chất của thế giới, thì không phải bởi vì đó là mối quan tâm đầu tiên của nó, về cơ bản giống như khoa học, mà là vì theo Phật giáo, sự vô minh có thể là nguồn gốc của đau khổ. "Sự vô minh" theo Phật giáo không đơn giản chỉ có nghĩa là thiếu kiến thức, mà

là một quan niệm sai lầm về thực tại khiến chúng ta tin rằng mọi thứ đều vĩnh viễn và vững chắc, rằng bản ngã của chúng ta thực sự tồn tại. Cái dẫn dắt chúng ta hành động theo cách để thỏa mãn bản ngã đó, đôi khi lại gây thiệt hại cho người khác, dẫn đến một hành vi hoàn toàn ích kỷ và phá hủy sự yên bình trong nội tâm chúng ta. Để loại trừ sự vô minh này, Phật giáo dạy chúng ta phải học cách phân biệt thực tại biểu kiến (cách mà các sự vật trình hiện trước chúng ta) với thực tại tối thượng (bản chất thực của chúng). Có được tri thức trong Phật giáo trước hết là vì mục đích trị liệu: nó giúp con người loại bỏ những đau khổ bằng cách đi theo con đường Giác ngộ, trạng thái tri thức tối thượng gắn liền với lòng từ bi vô hạn.

Một trong những khái niệm cơ bản mà Phật giáo đã suy ngẫm một cách sâu sắc là khái niệm của cái Không. Nhưng cái Không Phật giáo không quan tâm nhiều đến không gian xung quanh chúng ta như bản chất của sự vật. Chúng ta sẽ chỉ khái niệm này bằng từ "tính Không" để phân biệt nó với sự trống rỗng của không gian. Phật giáo dạy chúng ta rằng cái không là bản chất tối hậu của thế giới. "Tính Không" không có nghĩa là "hư vô" như các nhà bình luận phương Tây đầu tiên về Phật giáo, chẳng hạn triết gia Đức Schopenhauer, đã nghĩ một cách sai lầm[1], mà là "thiếu vắng sự tồn tại riêng". Các hiện tượng và chức năng mà các sự vật chứa đầy, theo tư tưởng Phật giáo, là không tồn tại độc lập và vĩnh hằng.

---

[1] Để biết thêm về quan niệm sai lầm này xem thêm cuốn *Le Culte du néant* (Sự sùng bái hư vô) của Roger- Pol Droit.

Khái niệm tính Không xuất phát trực tiếp từ một ý tưởng cơ bản khác của Phật giáo, đó là sự tương liên của các hiện tượng, theo đó một sự vật chỉ có thể được xác định trong mối quan hệ với những sự vật khác: không gì có thể tự thân tồn tại hoặc là nguyên nhân của chính nó; bất kỳ hiện tượng nào cũng chỉ có thể biểu hiện nếu nó được kết nối với các hiện tượng khác. Chẳng hạn, hãy thử xem xét cái bàn gỗ mà tôi sử dụng để viết. Nó sẽ không tồn tại nếu không có gỗ đã được sử dụng để làm ra nó. Gỗ này lại lấy từ một cái cây, mà cây này sẽ không thể phát triển nếu không có ánh sáng mặt trời, không được nước mưa tưới tắm, và không có đất để mọc. Cái bàn cũng không thể xuất hiện nếu thiếu người thợ mộc tạo hình cho nó và người tiều phu đã đốn cây lấy gỗ. Cả hai đều phụ thuộc vào người thợ rèn làm ra các công cụ cho họ sử dụng. Sau đó, chúng ta cũng phải nói tới thợ làm bánh mì phục vụ tất cả mọi người, rồi người nông dân đã trồng và thu hoạch lúa mì, người thợ xây nên lò bánh mì, người thợ mỏ đào than để đốt lò nướng, và cứ như vậy. Chuỗi kết nối sẽ còn kéo dài mãi mãi. Một đối tượng đơn giản nhất trong cuộc sống hằng ngày là hậu quả của sự hiện diện và hoạt động của các vật khác. Thực tại là kết quả hội tụ của một số vô hạn các điều kiện và nguyên nhân không ngừng thay đổi. Các hiện tượng tự thân chúng không là gì hết. Sở dĩ chúng có được bản chất của mình là nhờ phụ thuộc lẫn nhau.

Tất cả mọi thứ đều phụ thuộc vào cái khác. Vì vậy, thực tại không thể được coi như bị phân mảnh và cục bộ hóa, nó được kết nối và phụ thuộc lẫn nhau và phải được hiểu trong

tổng thể của nó. Chúng ta luôn được khoa học nhắc nhở về sự tương liên này của thế giới. Chẳng hạn, vũ trụ học hiện đại cho chúng ta biết rằng ta là hậu duệ của các ngôi sao bởi vì tất cả chúng ta đều được tạo ra từ các nguyên tố hóa học được sản xuất bởi các quá trình hạt nhân, trước hết là trong vụ nổ Big Bang tạo ra hydrogen và helium, sau đó là ở trung tâm các ngôi sao tạo ra các nguyên tố nặng hơn. Chúng ta có chung phả hệ vũ trụ với những đóa hồng thơm ngát và đàn linh dương trên trảng cỏ, một phả hệ có niên đại khoảng 13,8 tỷ năm. Được kết nối qua không gian và thời gian, tất cả chúng ta đều phụ thuộc lẫn nhau[1]. Phật giáo rút ra bài học từ điều này: một sự hiểu biết đúng đắn về khái niệm tương liên là phải làm cho chúng ta nhận ra rằng bức tường được dựng lên bởi tâm trí giữa ta và người khác là nhân tạo và không có lý do tồn tại. Ngược lại, chúng ta phải thực hành từ bi và yêu thương người khác vì hạnh phúc của chúng ta phụ thuộc vào hạnh phúc của mọi người. Sự Giác ngộ, chúng ta hãy nhớ, không chỉ là trạng thái tri thức không giới hạn, mà còn là từ bi vô hạn nữa.

Thế giới nguyên tử và hạ nguyên tử cũng không nằm ngoài vấn đề này. Một thí nghiệm nổi tiếng được đề xuất năm 1935 của Einstein và hai đồng nghiệp của ông, Boris Podolsky (1896-

---

[1] Về các thí nghiệm khoa học cho thấy sự tương liên của thế giới, hãy xem cuốn sách *Le Cosmos et le Lotus* (Vũ trụ và Hoa sen - NXB Tri Thức, 2013) của cùng tác giả, và *L'Infini dans la paume de la main* (Cái vô hạn trong lòng bàn tay- NXB Trẻ, 2004), tác giả viết chung với Matthieu Ricard.

1966) và Nathan Rosen (1909-1995), cho chúng ta biết rằng thực tại là tương liên, rằng nó là "không thể tách rời", rằng hai hạt ánh sáng tương tác liên tục là một phần của cùng một thực tại duy nhất. Bất kể khoảng cách giữa hai hạt này, hành vi của chúng luôn có tương quan tức thời mà không hề có sự truyền tải thông tin nào. Thí nghiệm này buộc chúng ta phải vượt qua những khái niệm thông thường về không gian. Nó buộc chúng ta phải từ bỏ những ý tưởng về sự định xứ của các sự vật, về nhận thức của chúng ta về đó và đây. Nó buộc chúng ta thừa nhận rằng thực tại không có tính cục bộ, mà là toàn cục.

Bởi vì mọi thứ đều phụ thuộc lẫn nhau, chúng không có sự tồn tại độc lập và thường hằng, cũng không có một thực tại nội tại. Phật giáo nói rằng chúng là "Không". Theo triết gia Phật giáo Ấn Độ Nagarjuna (150-250) (hình bên), "các hiện tượng có được bản chất của mình là nhờ sự phụ thuộc lẫn nhau và tự chúng sẽ không là gì hết". Đức Đạt Lai Lạt Ma thứ bảy đã tóm tắt mối liên hệ giữa khái niệm tương liên và tính Không như sau:

Hiểu sự tương liên, sẽ hiểu được tính Không,
Hiểu tính Không, sẽ hiểu được sự tương liên,

Đó là Trung Đạo
Thoát khỏi vực thẳm khủng khiếp
của chủ nghĩa hư vô và hiện thực[1].

Phật giáo không ủng hộ chủ nghĩa hư vô (mọi thứ đều không tồn tại) hay chủ nghĩa hiện thực vật chất (mọi thứ đều có một thực tại nội tại và tồn tại một cách độc lập), mà giữ một quan điểm trung gian: Trung Đạo (mọi vật tồn tại nhưng không có tồn tại nội tại). Không nói 'không có gì' và cũng không nói 'có cái gì đó', điều mà Nagarjuna diễn đạt như sau: "Nói 'có' là nhận mọi thứ là vĩnh cửu; nói 'không có' là chỉ thấy sự hủy diệt của chúng. Đây là lý do tại sao những người sáng suốt không chấp mê với ý tưởng tồn tại hay không tồn tại". Đối với Phật giáo, việc chúng ta không nhận thức được thế giới như là một mạng lưới rộng lớn của các sự vật kết nối với nhau, mà chẳng qua là một tập hợp các thực thể hoàn toàn tách biệt, chỉ là một sự thật thông thường chứ không phải chân lý tối thượng. Quan niệm này của chúng ta sẽ không còn đứng vững nữa ngay khi ta phân tích nó một cách sâu sắc. Phật giáo không bao giờ tuyên bố rằng các hiện tượng – như một hạt cơ bản, một cái bàn hay vũ trụ – không tồn tại vì chúng ta đã trải nghiệm chúng qua các giác quan của chúng ta và các nhà vật lý đã đo được các đặc tính của chúng bằng các dụng cụ của họ. Nó cũng không tranh cãi về các luật nhân quả và các định luật vật lý và toán học làm cho vũ trụ vận hành.

---

1 *Selected Works of the Dalai Lama VII* (Tuyển tập Đạt Lai Lạt Ma VII).

Nó đơn giản chỉ nói rằng nếu bạn đi đến tận cùng của sự vật, thì sẽ có một sự khác biệt giữa cái cách mà thế giới trình hiện trước chúng ta và bản chất tối hậu của chúng. Hiểu rằng mọi thứ là không, không phải là để loại bỏ thế giới và sự tồn tại của chúng ta ra khỏi sự đa dạng và phong phú, mà ngược lại, là để phát lộ toàn bộ sự lộng lẫy của chúng.

Sự không tồn tại và vô thường của vạn vật

Đối với Phật giáo, tính Không của các sự vật liên quan mật thiết với sự vô thường của các hiện tượng. Bởi vì hiện hữu được thay thế bằng không tồn tại (*anatman* trong tiếng Phạn), và bởi vì không tồn tại không phải là hư vô, mà là không có chất bản hữu, không có gì là vĩnh cửu và mọi thứ đều có thể thay đổi và chuyển hóa: "Tất cả những gì được sinh ra, đều sẽ bị mất đi." Núi sẽ bị xói mòn, những lâu đài không được chăm sóc sẽ trở nên đổ nát, tất cả chúng ta sẽ đi từ cái nôi đến ngôi mộ. Trong mỗi khoảnh khắc vô cùng bé, mọi sự vật và chúng sinh xung quanh chúng ta – và ngay cả chúng ta nữa – đều biến đổi và tiến hóa. Thay đổi là không thể tránh khỏi và nhận thức được sự hiện diện khắp nơi của nó dẫn chúng ta tới việc nhận ra rằng vũ trụ không bao gồm các thực thể vững chắc và tách biệt, mà gồm các dòng động luôn trong quá trình biến đổi và tương tác. Không gì có thể đông cứng và bất động, đồng nhất với chính nó. Đối với Đức Phật, vô thường là có thể là nhờ bản chất không của các sự vật. Tính Không của chúng được thể hiện bởi một thực tại

liên tục hình thành, bởi một dòng lưu chuyển phổ quát của hiện thực được liên tục biểu hiện qua các vòng sinh tử không ngừng của tất cả chúng sinh và sự vật. Khái niệm về sự vô thường này của Phật giáo trùng hợp với sự thay đổi vĩnh viễn của triết lý Kinh Dịch và Đạo giáo. Nó cũng hòa hợp, như chúng ta đã thấy, với các mô tả khoa học hiện đại về vũ trụ, thế giới nguyên tử và hạ nguyên tử.

"Bởi vì mọi thứ đều là tính Không, mọi thứ đều có thể." Câu nói nổi tiếng này của Nagarjuna có thể được xem là một câu trả lời cho câu hỏi nổi tiếng không kém của nhà triết học và nhà khoa học người Đức Gottfried Leibniz (1646-1716): "Tại sao lại có một cái gì đó chứ không phải là không có gì? Bởi vì không có gì là đơn giản và dễ dàng hơn là có cái gì đó. Hơn nữa, nếu như giả định rằng mọi thứ phải tồn tại, thì ta phải có khả năng giải thích được tại sao chúng lại tồn tại theo cách này chứ không theo cách khác." Trong cuốn *La Perfection de la sagesse* (*Sự hoàn hảo của trí huệ*) Nagarjuna viết: "Không, mọi thứ xuất hiện; khi xuất hiện, chúng lại là Không." Tính Không không chỉ là bản chất tối thượng của hiện tượng, mà nó còn cho phép triển khai các hiện tượng này đến vô cùng. Chẳng hạn, không gian trống rỗng cho phép có núi, rừng và sông suối. Ở đây chúng ta lại thấy cặp đôi Không-Doanh của tư tưởng Đạo giáo: đó là Không của thung lũng (nó là hõm, rỗng ở giữa các ngọn núi đầy xung quanh) cho phép nó được đầy, khi cưu mang trong lòng nó cây cối, sông hồ... Nếu không gian toàn là đá, không hiện tượng nào có thể triển khai được. Tương tự, nếu bản chất sâu

của các hiện tượng không phải là tính Không, nếu chúng sở hữu một thực tại nội tại và bất biến, chúng sẽ không thể tự biểu hiện đến vô cùng. Bởi vì bản chất cuối cùng của các sự vật là không có sự tồn tại độc lập và vĩnh hằng, thì các hiện tượng mới có thể xảy ra. Một sự vật chỉ có thể nảy sinh nếu nó được kết nối, có điều kiện và tạo điều kiện. Một thực thể tồn tại độc lập với tất cả mọi thứ khác sẽ không thể tác động lên bất cứ cái gì và không gì có thể ảnh hưởng đến nó. Thế giới các hiện tượng có thể biểu hiện theo hàng ngàn cách bởi vì bản chất cuối cùng của nó là tính Không. Một câu trả lời khả dĩ của Phật giáo cho câu hỏi của Leibniz có thể được diễn đạt dưới dạng một câu hỏi khác: tại sao lại không có gì khi các hiện tượng, do tính Không của chúng, là có thể và có thể được triển khai một cách vô hạn?

Phật giáo và sự vô thủy của vũ trụ

Vì nguyên lý tương liên và tính Không của các sự vật, nên Phật giáo đã xem xét sự ra đời của vũ trụ, sự chuyển tiếp của nó từ hư vô sang hiện hữu, không phải theo sự sáng thế *ex nihilo* (tức từ không có gì), mà theo một quan điểm hoàn toàn khác. Chẳng hạn, đối với Phật giáo, các hiện tượng của thế giới không phải thực sự được sinh ra, theo nghĩa là chúng đã chuyển từ không tồn tại sang tồn tại. Sở dĩ như vậy là bởi vì, về cơ bản, chúng không có thực tại tối hậu và chỉ tồn tại theo một thực tại tương đối.

Theo quan điểm này, câu hỏi về nguồn gốc của vũ trụ, về

sự chuyển tiếp từ không tồn tại sang hiện hữu là một vấn đề giả (tạo), hoặc ít nhất câu hỏi này không được đặt ra một cách gay gắt như trong trường hợp sự sáng thế *ex nihilo* của một vũ trụ có sự tồn tại riêng. Theo Phật giáo, vấn đề nguồn gốc dựa trên niềm tin vào thực tại của các hiện tượng, đặc biệt là sự tồn tại thực sự của thời gian và không gian. Đây chỉ là những khái niệm gắn liền với sự hiểu biết tương đối của chúng ta về thế giới và về những gì nó thể hiện. Chúng không có sự tồn tại riêng. Từ quan điểm chân lý tuyệt đối, không thể có sự sáng tạo *ex nihilo* của vũ trụ vì không có gì có thể được biểu hiện mà không có nguyên nhân hoặc các điều kiện, nói cách khác, không gì có thể bắt đầu tồn tại hoặc ngừng tồn tại. Lý lẽ như sau[1]: Nếu không có gì không thể trở thành một cái gì đó, thì đó là vì không có gì không thể chuyển đổi mà không rời bỏ hiện trạng hư vô của nó; nhưng làm thế nào để nó có thể rời bỏ một cái không hề tồn tại? Bởi vì hư vô là một khái niệm chỉ có thể được định nghĩa liên quan đến sự tồn tại, chứ nó không có một thực tại của chính nó. Vào thế kỷ 7, triết gia Ấn Độ Shantideva lập luận theo cùng hướng đó:

Nếu hiện hữu không ở thời gian không tồn tại,
Thì nó sẽ tồn tại khi nào?
Bởi không tồn tại sẽ không hề biến mất
Chừng nào tồn tại chưa được sinh ra,

---

1 *L'Infini dans la paume de la main* (Cái vô hạn trong lòng bàn tay, NXB Trẻ, 2004) của Matthieu Ricard và Trinh Xuan Thuan.

Nhưng cái này không thể sinh ra
Chừng nào không tồn tại chưa biến mất.
Cũng vậy, tồn tại không thể chuyển sang không tồn tại,
Bởi vì cùng một vật đều có bản chất kép này[1].

Do Phật giáo bác bỏ ý tưởng về một vũ trụ đi từ không tồn tại đến hiện hữu, vậy nó quan niệm như thế nào về nguồn gốc của thế giới? Nó nói về một "tiềm thể" giúp các hiện tượng xuất hiện. Nếu thê giới xuất hiện, thì đó là bởi vì một tiềm thế của biểu hiện đã có sẵn. Như vậy, tính Không không chỉ là bản chất tối hậu của các hiện tượng, mà còn chỉ tiềm thế cho phép những hiện tượng này triển khai vô tận. Ý tưởng về tiềm thế biểu hiện, tiềm thế không gian này thật đáng ngạc nhiên khi gợi ta nhớ tới các khái niệm về chân không tràn đầy của nhà vật lý: như chúng ta đã thấy, các khoảng trống của không gian được choán đầy bằng một trường Higgs mà, sự chuyển pha của nó trong quá trình vũ trụ nguội đi, đã sinh ra thế giới với tất cả các thành phần của nó; và vì nguyên lý bất định, không gian trống rỗng nhung nhúc các hạt ảo có thể xâm nhập vào thế giới thực ngay khi chúng hiện diện trong một trường hấp dẫn mạnh.

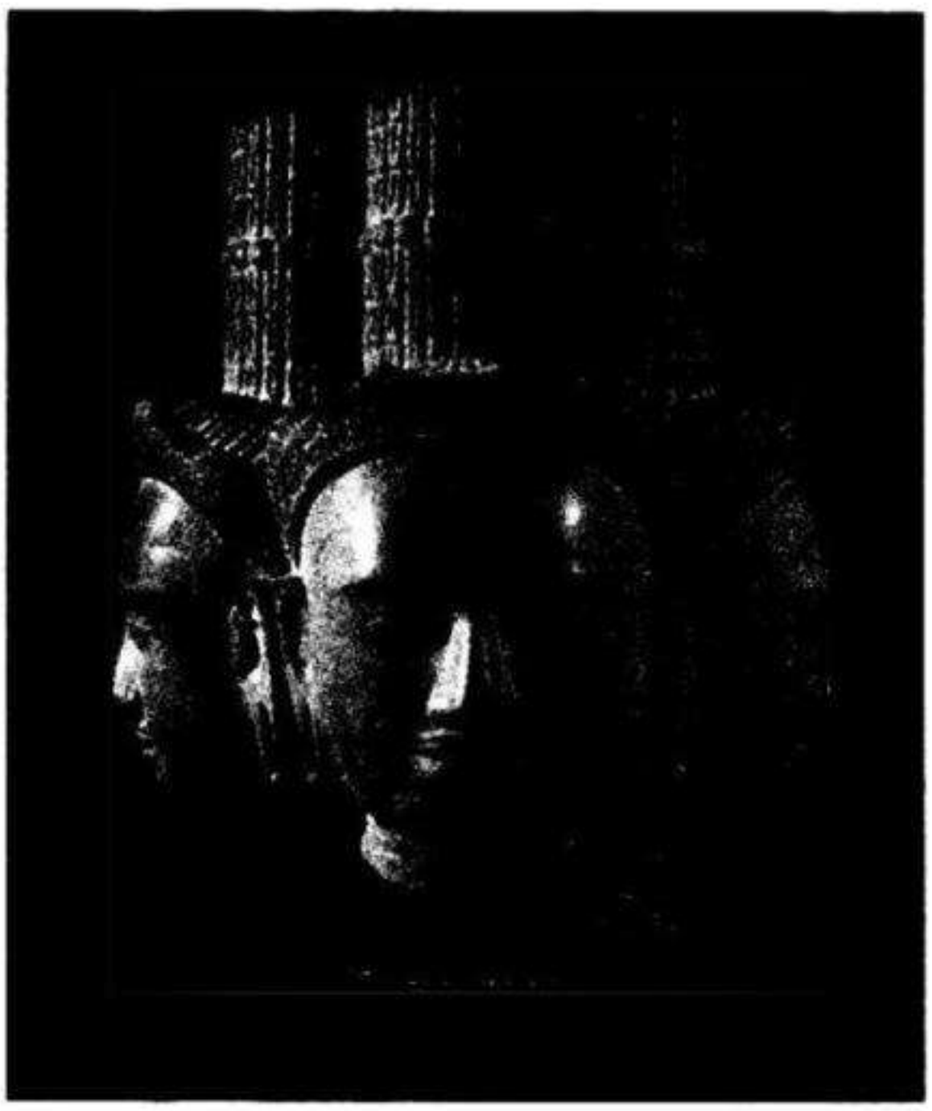
Như vậy, Phật giáo không chấp nhận ý tưởng về khởi thủy của vũ trụ với sự xuất hiện đồng thời của thời gian và không gian. Bởi vì mọi thứ đều phụ thuộc lẫn nhau, thế giới có điều kiện là không có bắt đầu, bởi vì mỗi trạng thái nhất thiết phải

---

[1] Shantidéva, *La Marche vers l'Éveil* (Con đường tới Giác ngộ).

do một trạng thái trước đó không phải là hư vô, mà là một tiềm thế gây ra. Từ quan điểm chân lý tuyệt đối, không hề có sự sáng thế hay sự chấm dứt. Không gì có thể bắt đầu tồn tại hoặc ngừng tồn tại. Và như vậy, vũ trụ không có bắt đầu hay kết thúc. Vũ trụ duy nhất tương thích với quan niệm Phật giáo là vũ trụ tuần hoàn. Trong từ vựng của vũ trụ học hiện đại, vũ trụ phải trải qua một chuỗi không đầu hoặc cuối của các big bang (các giai đoạn giãn nở) và các big crunch (giai đoạn co lại). Theo quan điểm này, vụ big bang gây ra vũ trụ hiện tại sẽ không còn là vụ nổ nguyên thủy duy nhất, thời gian và không gian xuất hiện đồng thời, nhưng là sự khởi đầu của một chu kỳ cụ thể trong một chuỗi các chu kỳ, thời gian mở rộng đến vô hạn theo cả hai hướng, tới quá khứ và tương lai.

Trong lịch sử vũ trụ học, nhà khoa học đầu tiên xây dựng mô hình vũ trụ tuần hoàn là nhà vật lý và toán học người Nga Alexander Friedmann (1888-1925) (hình bên). Năm 1922, sử dụng các phương trình của thuyết tương đối tổng quát, ông đã đề xuất một vũ trụ trải qua vô số các giai đoạn giãn nở và co lại, bất chấp sự phản đối dữ dội từ cha đẻ của thuyết tương đối, người ban đầu đã bảo vệ quyết liệt ý tưởng về một vũ trụ tĩnh. Friedmann đã mô tả vũ trụ tuần hoàn của mình như sau: "Vũ trụ co lại thành một điểm, sau đó bán kính của nó lại tăng lên, rồi lại co lại, và cứ như thế mãi. Ta không thể không nghĩ đến thế giới tuần hoàn của thần thoại Ấn Độ giáo." Ở đây



Trong thần thoại Ấn Độ giáo, vị thần Brahma (được thể hiện với bốn đầu, tượng trưng cho bốn phương thức hoạt động của tư duy: tinh thần, trí tuệ, bản ngã và ý thức) đã tạo ra vũ trụ trong mơ khi đang ngủ. Vũ trụ tan rã sau một trăm chu kỳ (860 tỷ năm) khi giấc mơ kết thúc. Sau đó Brahma bắt đầu mơ lại và vũ trụ bắt đầu lại trong một giai đoạn một trăm chu kỳ mới.

Friedmann đã liên tưởng đến huyền thoại Ấn Độ giáo, theo đó thần Brahma (hình trên) đã tạo ra thế giới trong khi đang ngủ và mơ. Mỗi chu kỳ vũ trụ tương ứng với một trong những hơi thở của thần, vũ trụ nở ra khi thần thở ra và co lại khi thần hít vào. Mỗi hơi thở của Brahma kéo dài xấp xỉ 8,6 tỷ năm[1], một điều đáng kinh ngạc là nó gần so với tuổi hiện nay của vũ trụ ước tính là 13,8 tỷ năm[2].

---

1 Trong vũ trụ học Ấn Độ giáo, đơn vị thời gian là kalpa, tương ứng với 4,3 tỷ năm. Một chu kỳ của vũ trụ bao gồm một lần thở ra và hít vào của thần Brahma, mỗi lần kéo dài một kalpa, tương ứng mỗi chu kỳ kéo dài 8,6 tỷ năm.

2 Để biết thêm chi tiết về vũ trụ tuần hoàn theo khoa học, xem thêm *Désir d'infini* (Khát vọng tới cái vô hạn, NXB Trẻ, 2014) của cùng tác giả.

Thế các quan sát thiên văn cho chúng ta biết những gì? Liệu chúng ta có sống trong một thế giới tuần hoàn? Chúng ta đều đã thấy rằng không phải như vậy. Các đo đạc cho thấy tổng lượng vật chất sáng và tối trong vũ trụ còn xa mới đủ (nó chỉ đóng góp khoảng 1/3 mật độ tới hạn) để lực hấp dẫn làm đảo ngược quá trình giãn nở và gây ra một vụ big crunch. Ngược lại, năng lượng tối bí ẩn (đóng góp 2/3 còn lại của mật độ tới hạn), tạo ra lực phản hấp dẫn, đang đẩy nhanh sự giãn nở của vũ trụ, và sẽ cứ như thế cho đến tận cùng thời gian. Như vậy, các quan sát hiện tại loại trừ khả năng một vụ big crunch, và do đó loại trừ một vũ trụ tuần hoàn, ít nhất là theo lý thuyết Big Bang chuẩn. Nhưng hiện có những phiên bản không chuẩn khác của thuyết Big Barıg, như lý thuyết màng mà chúng ta đã đề cập. Theo lý thuyết này, Big Bang là kết quả của sự va chạm giữa vũ trụ-màng của chúng ta với một vũ trụ-màng song song khác, và va chạm này sẽ chỉ là một giai đoạn trong một chu kỳ vô hạn của các va chạm khổng lồ. Lý thuyết này có thể phù hợp với quan niệm vũ trụ tuần hoàn, vô thủy vô chung của Phật giáo.

Khi bác bỏ ý tưởng vũ trụ được tạo ra *ex nihilo*, Phật giáo không cần tới sự tồn tại của một Đấng Tạo Hóa. Đức Phật không phải là Thiên Chúa, Phật mô tả mình chỉ đơn giản là người hướng dẫn: Ngài chỉ cho chúng ta con đường, và mỗi người trong chúng ta phải tự đi qua nó để giải phóng bản thân (và những người khác) khỏi đau khổ và đạt được hạnh phúc. Trái lại, ý tưởng cho rằng Thiên Chúa tạo ra

vũ trụ từ hư vô đóng vai trò cơ bản trong các truyền thống Thiên Chúa giáo. Một trong những lập luận được sử dụng nhiều nhất ở phương Tây để chứng minh sự tồn tại của một Đấng Sáng Thế được gọi là "lập luận vũ trụ học". Nó đã thu hút sự chú ý của nhiều nhà triết học và thần học vĩ đại nhất trong suốt nhiều thế kỷ, từ Plato và Aristotle đến Kant và Leibniz, và cả Thomas d'Aquin. Nó thừa nhận rằng mọi thứ đều có nguyên nhân và không thể có một chuỗi vô hạn các nguyên nhân được: sớm muộn gì, ta cũng phải đi đến nguyên nhân gốc rễ, cái nguyên nhân đã gánh trách nhiệm về toàn bộ sự sáng thế. Nguyên nhân gốc rễ chính là Đấng Sáng Thế, vốn là nguyên nhân của chính mình (*causa sui* theo tiếng Latin): sự tồn tại của Ngài không đòi hỏi phải có nguyên nhân vì nó là cần thiết, sự tồn tại của Chúa không cần giải thích bởi vì nó xuất phát từ bản chất của Ngài. Lập luận về vũ trụ học dựa trên nguyên tắc túc lý được đưa ra bởi nhiều người trong đó có Leibniz như sau: "Không gì có thể xảy ra nếu không có nguyên nhân hoặc ít nhất là một lý do xác định." Nó cũng dựa trên quan niệm phương Tây về thời gian tuyến tính: một sự kiện A xảy ra, gây ra B, là nguyên nhân của C, và cứ như vậy. Lập luận này không còn đúng khi ta xem xét một thời gian không còn là tuyến tính, mà có tính tuần hoàn.

Sự mờ nhòe lượng tử cũng đập tan tành ý tưởng về một nguyên nhân gốc rễ. Nhờ nguyên lý bất định, chúng ta đã thấy không gian trống rỗng chứa đầy những hạt ảo xuất hiện và biến mất theo những vòng sinh tử vô cùng ngắn

ngủi. Những hạt này xuất hiện một cách đột ngột và không thể đoán trước được bằng cách vay mượn năng lượng từ tự nhiên, và sự tồn tại của chúng càng ngắn khi khối lượng của chúng càng lớn và đòi hỏi phải vay mượn năng lượng càng nhiều. Không thể biết chắc nơi nào và khi nào chúng xuất hiện, mà chỉ có thể nói được theo xác suất mà thôi. Chẳng hạn, xác suất tồn tại của chúng sẽ lớn hơn khi ở gần trường hấp dẫn mạnh của một lỗ đen. Nói cách khác, các hạt không có nguyên nhân chính xác và hành vi của chúng không thể xác định trước. Các nhà vật lý ngày nay tin rằng những gì đúng với các hạt cơ bản có thể cũng sẽ đúng đối với toàn bộ vũ trụ. Vũ trụ không còn cần đến một nguyên nhân gốc rễ hay nguyên nhân đầu tiên, nó có thể xuất hiện nhờ vào những thăng giáng lượng tử. Sau khi được tạo ra, lạm phát sẽ làm nó giãn nở theo hàm số mũ trong những khoảnh khắc của giây đầu tiên, và sự tiến hóa của vũ trụ, được chi phối bởi các định luật vật lý và sinh học, sẽ dẫn đến thế giới vốn quen thuộc với chúng ta. Mô tả này có vẻ giống với sự sáng tạo ra vũ trụ ex nihilo theo truyền thống Thiên Chúa giáo[1]. Nhưng trong trường hợp này, sự xuất

---

[1] Chẳng hạn thuyết *tsimtsum* (nghĩa là "rút lại") trong kinh Kabbalah của người Do Thái. Để trả lời câu hỏi "Làm thế nào Thiên Chúa có thể tạo ra thế giới ex nihilo?" kinh này giải thích rằng Thiên Chúa đã rút khỏi chính mình, và bằng hành động này đã tạo ra một khoảng trống cho thế giới sắp tới. Chúng ta cũng phải nhắc tới Thầy Eckhart (1260-1328), nhà sư và nhà thần học xứ Rhine. Ý tưởng của ông về hư không hoặc trống rỗng (mà ông gọi là "sa mạc"), nơi mà linh hồn hoàn toàn không

hiện của vũ trụ dường như có thể được giải thích bởi các quá trình vật lý thuần túy, mà không đòi hỏi sự tồn tại của một nguyên nhân gốc rễ, dù là thần thánh hay không. Chỉ với sự phát triển của một lý thuyết về hấp dẫn lượng tử trong tương lai mới có thể cho chúng ta biết liệu kịch bản này có giá trị gì hay không.

---

có cái tôi, về ảo ảnh bản ngã và bản chất nguyên thủy giống như thực tại tối thượng khá gần với tư tưởng Phật giáo. Nhưng trong khi Phật giáo về cơ bản là vô thần, thì Eckhart xác định tính không với Thiên Chúa, được nhập thể trong Chúa Jesus.

Vĩ thanh

Hòa giải các đối lập

Đạo giáo và cặp đôi Âm-Dương

Sau chuyến viễn du trong phong cảnh của vũ trụ học hiện đại, chúng ta đã đi đến kết luận rằng cái Không là tràn đầy. Chúng ta đã được dẫn dắt để dung hòa các khái niệm có vẻ trái ngược nhau để phản ánh sự phong phú của thực tại. Đạo giáo khuyến khích chúng ta nắm lấy sự lộng lẫy của các mặt đối lập. Nó dạy chúng ta rằng việc đặt cạnh nhau các khái niệm mà thoạt nhìn dường như tương phản để mô tả thế giới là rất có hiệu quả. Nó nói với chúng ta rằng sự thống nhất và tương liên của thế giới là kết quả của sự đối lập động và bổ sung lẫn nhau của hai cực, Âm và Dương. Khi các Đạo sĩ nói với chúng ta về một thế giới toàn thể và sự thống nhất của thực tại, ý của họ không phải là tất cả các hiện tượng đều giống nhau. Không phải là để xóa bỏ mọi sự khác biệt, mà ngược lại họ nhận ra tính cá thể của vạn vật. Nhưng đồng thời, họ cũng nhận thức được sự thống nhất của các hiện tượng mà thoạt nhìn dường như hoàn toàn mâu thuẫn.

Kinh văn của Đạo giáo thường ghép nối các khái niệm trái ngược trong cùng một câu. Chẳng hạn như trong chương 2 của Đạo Đức Kinh:

Thiên hạ đều biết tốt đẹp là tốt đẹp,
Thì đã sinh ra quan niệm về ác xấu rồi.
Đều biết thiện là thiện,
Thì đã sinh ra quan niệm bất thiện rồi.
Có và không cùng sinh cho nhau.
Khó và dễ cùng tạo cho nhau để thành,
Dài và ngắn cùng tạo hình cho nhau,
Cao và thấp cùng lấp đầy cho nhau[1].

Chính việc tâm trí chúng ta tập trung vào một khái niệm sẽ tạo ra cái đối lập của nó. Chắc chắn, ngay khi một khái niệm trừu tượng phát sinh, nó tự khẳng định mình như là một điểm quy chiếu. Nhưng mọi khẳng định đều hàm ý khả năng phủ định của nó. Theo Isabelle Robinet, "Lão Tử không chỉ làm sáng tỏ khía cạnh nghịch lý của tư tưởng và diễn ngôn của con người, cũng như hình thức cơ bản là nhị nguyên của chúng; mà còn trong từng trường hợp, kết hợp mặt trái và mặt phải của một đồng xu, hoặc đảo ngược trật tự quen thuộc và thông thường, nhằm nắm bắt cái nền tảng mà toàn bộ khẳng định dựa trên đó"; như vậy, tư tưởng Đạo giáo dựa trên một "logic hai chiều (...) mà ở đó một thuật ngữ tham chiếu tới cái

---

[1] Đạo Đức Kinh.

đối lập của nó, luận đề và phản đề phải được nhìn nhận theo khía cạnh đối lập động đồng thời lại bổ sung cho nhau tạo thành một tổng thể[1]".

Như vậy, những hiện tượng dường như trái ngược nhau – ánh sáng và bóng tối, thất bại và chiến thắng, sự sống và cái chết, niềm vui và đau khổ, tốt hay xấu, hay, điều mà chúng ta quan tâm ở đây, cái Không và tràn đầy – phải được coi là biểu hiện của hai thái cực thuộc một và cùng một thực tại. Trên quan điểm này, theo Đạo giáo, đạo đức không phải là cố gắng tiêu diệt tất cả cái xấu chỉ để lại cái tốt, một nhiệm vụ bất khả thi, mà là nỗ lực nhằm duy trì sự cân bằng động giữa cái tốt và cái xấu, một mục tiêu dễ tiếp cận hơn nhiều.

Khái niệm "đối lập động" là chìa khóa ở đây. Nó đóng vai trò cơ bản trong triết học Đạo giáo. Do sự vô thường của vũ trụ, không gì có thể là tĩnh trong vũ trụ: tất cả đều chuyển động, đều biến đổi và tiến hóa. Tương tác động và tương hỗ của cặp đôi Âm-Dương làm cho vũ trụ và mọi thứ chứa trong đó đều tuân theo sự vận động tuần hoàn vĩnh cửu, vô thủy vô chung. Hai thái cực này liên quan chặt chẽ với nhau, trong Dương chứa Âm. Dương cực thì Âm sinh nhưng trong Âm lại có Dương và Âm cực thì Dương sinh và cứ tiếp tục như thế. Sự chuyển động của Đạo giống như một con lắc. Theo Lão Tử, "vận động của Đạo bắt nguồn từ chỗ phản, và đi xa lại trở về." Sự luân phiên này đem lại hy vọng, lòng can đảm và sự kiên trì trong những khoảnh khắc khó khăn của cuộc

---

[1] Isabelle Robinet, *Comprendre le Tao* (Hiểu Đạo).

sống, vì chúng chỉ có thể chuyển biến tốt đẹp hơn, nhưng nó cũng gợi ý sự thận trọng, khiêm tốn và kiềm chế trong những thời điểm tốt đẹp, bởi vì sự chuyển biến sang xấu không bao giờ ở quá xa.

Phật giáo và Trung đạo

Việc dung hòa các mặt đối lập không phải chỉ riêng có trong tư tưởng Đạo giáo, nó cũng là một phần không thể tách rời của triết học Phật giáo. Phật giáo nói với chúng ta rằng có hai thực tại, chân lý thông thường hay chân lý tương đối, tức cái mà con người nhận thức bằng giác quan của mình, và chân lý tối hậu, tức cái mô tả bản chất thực sự của thế giới. Ví dụ minh họa tốt nhất cho sự phân đôi này là mối tương liên của các sự vật. Chẳng hạn, trong cuộc sống hằng ngày, các sự vật dường như có một thực tại khách quan độc lập với chúng ta, như thể chúng tự tồn tại và có bản chất độc lập. Chúng ta thấy một quả cam ở đây, một cái cây ở kia. Mỗi vật dường như có một bản sắc riêng biệt, do đó thế giới không trình hiện trước chúng ta như một tập hợp các sự vật có liên kết với nhau. Tuy nhiên, Phật giáo cho rằng kiểu nhận thức các hiện tượng như thế chỉ là một sản phẩm của tâm trí chúng ta và phương thức này không còn đứng vững khi phân tích. Thực vậy, khi nhìn vào quả cam, chúng ta chú ý đến kích thước, trọng lượng, màu vỏ, hình dạng hoặc vị trí của nó. Tổng thể các thuộc tính này tạo nên trong tâm trí ta khái niệm "quả cam". Nhưng Phật giáo vẫn cho rằng đây chỉ là một kết cấu của tâm trí, gán cho

quả cam một thực tại độc lập một cách sai lầm. Khi chúng ta phân tích quả cam một cách chi tiết hơn, chúng ta thấy rằng nó được tạo ra từ một loạt các nguyên nhân và rất nhiều điều kiện: cây cam sinh ra nó, ánh sáng mặt trời và mưa cho phép cây lớn lên, người nông dân đã trồng cây này, người làm bánh và người bán thịt làm ra bánh mì và thịt nuôi người nông dân... Các kết nối như thế là vô tận, và không thể xác định được bản sắc độc lập của quả cam. Theo Phật giáo, chỉ trong mối liên quan và phụ thuộc vào các yếu tố khác, một sự kiện mới có thể xảy ra. Sự phụ thuộc lẫn nhau là điều kiện căn bản đối với sự biểu hiện của các hiện tượng: cái này nảy sinh là do cái kia. Khi dung hòa hai quan điểm về thế giới dường như hoàn toàn trái ngược nhau, vượt qua các đối lập, Phật giáo đã đưa ra cái được gọi là "Trung đạo": một hiện tượng không phải là không tồn tại, nhưng nó không tồn tại độc lập, điều này cho phép nó tương tác và hoạt động theo luật nhân quả.

Niels Bohr và nguyên lý bổ sung

Vật lý lượng tử cũng đã bị buộc phải làm hài hòa các hiện tượng dường như không thể dung hòa được. Một trong những khám phá đáng kinh ngạc nhất của cơ học lượng tử chính là, cũng như vật chất, và tương tự Janus, ánh sáng sở hữu một bản chất hai mặt: photon, electron, proton, hay bất kỳ hạt nào khác đều có lưỡng tính sóng hạt. Kỳ lạ hơn nữa: biểu hiện của một hạt phụ thuộc vào sự hiện diện của người quan sát. Nếu tôi kích hoạt thiết bị để đo các thuộc tính của photon, nó

sẽ xuất hiện như một hạt. Nhưng chừng nào không bị quan sát, thì nó lại có dạng của một sóng. Là một sóng, nó có thể lan rộng và chiếm toàn bộ không gian, như là những sóng tròn tạo ra khi ném một hòn đá xuống ao lan tỏa và chiếm toàn bộ bề mặt của ao. Sóng này, được tính toán vào năm 1926 bởi nhà vật lý người Áo Erwin Schrödinger (hình bên), có thể được coi là sóng xác suất. Cơ học lượng tử nói rằng nếu không quan sát, tôi sẽ không bao giờ có thể dự đoán được vị trí của photon tại một thời điểm nhất định. Tôi chỉ có thể tính được xác suất tìm thấy nó ở nơi này hoặc nơi kia mà thôi. Sóng của photon, giống như sóng biển, có biên độ rất lớn ở đỉnh và biên độ nhỏ hơn nhiều ở nút sóng. Điều này có nghĩa là, ở đỉnh sóng, tôi có cơ hội bắt gặp photon cao hơn so với ở các nút sóng, nhưng ngay cả ở những đỉnh sóng tôi cũng sẽ không bao giờ biết chắc chắn rằng mình sẽ gặp được nó. Sự chắc chắn bị cấm ở thế giới lượng tử.

Einstein, một người theo thuyết tất định cố hữu, không thể chấp nhận việc giải thích thực tại bằng xác suất của cơ học lượng tử. "Chúa không chơi trò xúc xắc", ông nói. Đối với ông, các hạt vật chất và ánh sáng luôn phải được đặc trưng bởi một vị trí và tốc độ xác định, dù được quan sát hay không. Werner Heisenberg miêu tả chủ nghĩa hiện thực duy vật của Einstein như sau: "Nhà vật lý phải đưa ra giả thuyết rằng anh

ta đang nghiên cứu một thế giới không phải do chính anh ta tạo ra và nó sẽ hiện diện, bất biến, ngay cả khi anh ta không có mặt". Nhưng các thí nghiệm cho thấy Einstein đã nhầm: người quan sát đóng vai trò quyết định trong việc định hình thực tại mà anh ta quán chiếu, và các tiên đoán của cơ học lượng tử, chấp nhận vai trò quan trọng của ngẫu nhiên trong việc giải thích thực tại theo xác suất, chưa bao giờ bị các kết quả đo trong phòng thí nghiệm chứng tỏ là sai.

Nhưng nếu chúng ta chối bỏ chủ nghĩa hiện thực giáo điều của Einstein, thì làm thế nào có thể giải thích được thực tế photon hay electron đồng thời vừa là sóng vừa là hạt? Bản chất kép của ánh sáng và vật chất đã buộc vật lý lượng tử, giống như Đạo giáo và Phật giáo, phải vượt qua các khái niệm dường như đối lập để kết hợp chúng trong một mối quan hệ động thành một thể thống nhất. Cách giải thích phổ biến nhất của cơ học lượng tử là thuộc trường phái Copenhagen, do Niels Bohr lãnh đạo (hình). Theo Bohr, lưỡng tính sóng-hạt không tách biệt, mà bổ sung cho nhau – chính là cái mà ông gọi là "nguyên lý bổ sung". Đối với nhà vật lý Đan Mạch này, đây là hệ quả không thể tránh khỏi của sự tương tác giữa hiện tượng và thiết bị đo nó. Thực tại không phải là kép, mà chính kết quả của các tương tác thực nghiệm là kép. Theo Bohr, khi chúng ta nói về các nguyên tử hoặc electron, ta

không nên tưởng tượng đó là các thực thể thực sự tồn tại độc lập, với những thuộc tính đã được xác định rõ ràng như vị trí hay vận tốc khi vẽ nên các quỹ đạo cũng hoàn toàn xác định. Khái niệm nguyên tử chỉ là một cách thuận tiện để kết nối thành một sơ đồ hợp lý và mạch lạc các quan sát khác nhau: "Sự mô tả tự nhiên của chúng ta không nhằm phát lộ bản chất thực sự của hiện tượng, mà đơn giản chỉ để khám phá nhiều nhất có thể các mối quan hệ giữa các khía cạnh của sự tồn tại của chúng ta[1]." Heisenberg viết theo cùng hướng đó: "Yêu cầu 'mô tả điều gì xảy ra' trong quá trình lượng tử giữa hai quan sát liên tiếp là một *contradictio in adjecto* (mâu thuẫn tự thân), bởi vì từ 'mô tả' dùng để chỉ các khái niệm cổ điển không thể được áp dụng trong khoảng thời gian giữa hai quan sát. (...) Bản thể học của chủ nghĩa duy vật dựa trên ảo tưởng rằng (...) 'thực tại' trực tiếp của thế giới xung quanh chúng ta có thể được ngoại suy tới cả thang nguyên tử. Sự ngoại suy này là bất khả[2]."

Một quan điểm phong phú hơn về thế giới

Ở cấp độ nguyên tử và hạ nguyên tử, vật lý lượng tử đã biết vượt qua các khái niệm đối lập để thống nhất chúng trong một mối quan hệ động của một tổng thể thống nhất. Điều này

---

1 Niels Bohr, *Atomic Theory and the Description of Nature* (Lý thuyết nguyên tử và Sự mô tả tự nhiên).

2 Werner Heisenberg, *Physique et Philosophie* (Vật lý và Triết học, NXB Tri Thức, 2009).

không chỉ áp dụng đối với lưỡng tính sóng-hạt của ánh sáng và vật chất, mà còn, như chúng ta đã thấy, đối với cái Không tràn đầy. Bằng cách dung hòa các mặt đối lập theo kiểu Đạo giáo và Phật giáo, vật lý lượng tử đưa ra một cái nhìn chính xác và phong phú hơn về thế giới nguyên tử và hạ nguyên tử. Những người sáng lập cơ học lượng tử đã nhận thức được sự tương đồng có thể tồn tại giữa quan điểm về thực tại của cơ học lượng tử và các truyền thống tâm linh phương Đông. Trong một chuyên đi đến Trung Quốc năm 1937, sau khi đưa ra nguyên lý bổ sung, Bohr đã rất ấn tượng với khái niệm hai cực đối lập – Âm và Dương – của Đạo giáo, chính hai cực này đã tạo nên thực tại. Mười năm sau, khi nhà vật lý này được vua Đan Mạch phong tước hiệp sĩ cho những đóng góp khoa học của mình, ông đã chọn gia huy của mình là biểu tượng cặp đôi Âm-Dương, kèm theo câu cách ngôn: *Contraria sunt complementa* (đối nghịch là bổ sung) (hình trang sau).

Do khía cạnh sóng bổ sung cho khía cạnh hạt, và khái niệm tràn đầy bổ sung cho khái niệm chân không, thế giới quan từ tâm linh (ở đây là tâm linh phương Đông) bổ sung cho sự phát triển của khoa học. Chắc chắn đó không phải là để tạo cho khoa học thêm tính thần bí, hay để hỗ trợ Đạo giáo hay Phật giáo bằng những khám phá khoa học. Khoa học và tâm linh là những lĩnh vực khác nhau, như nhà sinh học người Mỹ Stephen Jay Gould[1] đã chỉ ra một cách chính xác, và không cần phải tổng hợp hay hòa giải chúng. Khoa học hoạt

---

[1] Stephen Jay Gould, *Rocks of Ages*.

Gia huy của Bohr với biểu tượng cặp đôi Âm-Dương và câu cách ngôn tiếng Latin *Contraria sunt complementa* (đối nghịch là bổ sung) phản ánh công trình của ông trong vật lý về "nguyên lý bổ sung", theo đó vật chất và ánh sáng có bản chất kép, khía cạnh sóng bổ sung cho khía cạnh hạt.

động hoàn hảo và đạt được mục đích nó đặt ra – nghiên cứu và giải thích các hiện tượng – mà không cần sự hỗ trợ của một truyền thống tâm linh hay tôn giáo nào. Còn về tôn giáo, nó nhằm mục đích tạo ra cho chúng ta một sự chuyển đổi sâu sắc bên trong thông qua nhận thức về thế giới và tác động lên nó, để giúp chúng ta suy nghĩ và hành động đúng đắn. Dù Trái Đất có xoay quanh Mặt Trời hay ngược lại, hoặc Big Bang là nguồn gốc của vũ trụ hay do một nguyên nhân nào khác thì cũng không thay đổi điều gì. Nhưng vì khoa học và tâm linh, cả hai đều đại diện cho một sự tìm kiếm chân lý, với tiêu chí là

tính xác thực và chặt chẽ, nên cách thức xem xét thực tại của mỗi thứ không nên dẫn đến một sự đối lập không thể khắc phục, mà nên là một sự bổ sung hài hòa[1]. Sự dung hòa giữa các đối lập là sáng tạo và sinh ra chân lý.

---

[1] Fritjof Capra, *The Tao of Physics* (Đạo của Vật lý).

Index

A

Abdus Salam 209, 211
Achilles 35-36, 113
Adam Riess 242
Ai Cập 25-27, 44, 112, 124
Alan Guth 222, 245
Albert Einstein 134, 216
Albert Michelson 129
Alexander Đại đế 30
Alexander Friedmann 310
âm thanh 105, 108, 111, 119-120, 159, 187, 190, 285
Âm và Dương 288, 293, 317, 325
Anaximenes 46
Ấn Độ giáo 273, 278-279, 283, 285, 310-311
Andrei Linde 259
Andromeda 271-272, 295
Anh quốc 39
Antoine de Lavoisier 146
Anu 44
Apollo 65, 92
Apsu 44
Archimedes 33
argon 87
Aristotle 8-9, 36, 39, 47, 50-54, 56, 58, 61, 63, 66, 76, 78, 80, 96, 100-101, 108, 146, 174, 205, 285, 294, 313
Arno A. Penzias 228
atman 279
Audhumla 44
Augustin Fresnel 117, 128

B

Bagdad 38, 52
bán cầu Magdeburg 84, 85
bảng tuần hoàn các nguyên tố 147
bán kính không thể quay lui 142, 168-169, 181
bàn tính 27-29, 32, 40
bất định 10, 152-161, 172-173, 175, 178, 184, 238, 247, 253, 296, 309, 313
Big Bang 11, 18, 37, 53, 94-95, 171, 182, 187-189, 198, 207, 209, 216, 222-223, 225-229, 231, 233, 235, 241, 244-245, 248, 254-255, 272-273, 284, 294, 302, 310, 312, 326
big crunch 266, 310, 312
Blaise Pascal 7, 71, 74, 77, 81, 84
boson Higgs 198, 206-207
bọt lượng tử 175-177, 238
Brahma 311
Brahman 279
Brandon Carter 258
Brian P. Schmidt 242
bức xạ nền 94-95, 228-230, 237-241, 245, 255, 270, 272-273
bước sóng 116, 119, 155, 166-167, 271

C

Cách đếm Ai Cập 25
Cách tính toán viết 32
cái chết của proton 212
carbon dioxide 87
CERN 185, 193, 198, 207, 210, 233, 247
chai rượu vang 13
châm cứu 297
chân không nguyên thủy 284
chân lý 58, 117, 142-143, 214, 277, 283, 304, 308, 310, 320, 326-327
Chateaubriand 83-84
chiều dài Planck 176-178, 183-185, 238, 246

chiều không gian 185, 259-261, 268, 298
chiều thời gian 138, 259, 261, 298
Christian Huygens 107
chủ nghĩa duy vật 324
chuỗi vô hạn 35, 313
chữ tượng hình 112, 124
chuyển động của hành tinh 132
chuyển động của Trái Đất 126, 130-131, 133, 136
chuyển động nguyên tử 270
chuyển động tuần hoàn 288
chuyển pha 198, 200-203, 208-210, 214-215, 309
Clermont-Ferrand 71
COBE 237-238
cơ học lượng tử 10, 145, 151, 157-158, 160, 165, 167, 172-175, 177-181, 183, 197, 212, 249, 264, 268, 321-323, 325
cơ số thập phân 26, 31
Cụm địa phương 271, 295
cụm thiên hà 295

D

Dante 199
dạng Calabi-Yau 260
Democritus 8, 48, 146, 148
Dmitri Mendeleev 147
DNA 191, 256

Đ

đa vũ trụ lạm phát 259, 267
đa vũ trụ màng 261-262, 267
Đạo Đức Kinh 281-282, 284, 286, 289, 318
Đạo giáo 11, 273, 279-281, 283-288, 290-291, 294, 296-299, 306, 317-320, 323, 325
Đạt Lai Lạt Ma 303-304
đau khổ 277, 299-300, 312, 319
đẳng cấp 299
Đấng Sáng Thế 37, 313
đế chế La Mã 38, 52

đĩa kết tụ 94
điểm kỳ dị 181
điều kiện ban đầu của vũ trụ 19, 230
định luật bảo toàn năng lượng 160, 227
định luật vật lý 57, 63, 133, 159, 186, 198, 213, 247, 257, 304, 314
độ cong của vũ trụ 237, 239-241
độ phức tạp 148
Đức Chúa 100-101
Đức Phật 290, 299, 305, 312

E

Edmund Hillary 89
Edward Morley 129
Edwin Hubble 187, 241
electron 19, 93-94, 149-152, 154-158, 161-165, 169, 182-183, 191, 193, 197, 204-205, 219, 228-229, 233, 246, 250-252, 254-255, 258, 262-263, 273, 287, 289, 296, 321, 323
Empedocles 46-47, 50, 59-60, 68, 96
Enuma Elish 44
Ernest Rutherford 149
Erwin Schrödinger 145, 158, 263, 322
ether 9-10, 47, 50, 96-97, 108-111, 115, 117, 120-121, 126-130, 132-136, 138, 140-143, 145, 174, 205-206, 220, 278
Eugenio Calabi 260
Evangelista Torricelli 60, 66
Everest 89, 171

F

fermion 250, 252-253
Florin Périer 77, 79
Francesco Maria Grimaldi 113
François Cheng 283, 287-288, 290, 298
François Englert 198, 207

G

Galilei 58, 60-66, 68, 70, 81, 104
George FitzGerald 132
George Steiner 15
Georges Seurat 176
ghobar 40-41
giả chân không 222-226, 242, 245-246, 259, 284
Giác ngộ 299-300, 302, 309
giãn nở vũ trụ 95
Giáo hội 39, 52, 97
giao thoa 112, 114-119, 130-133, 138
giao thoa kế 130-133
gluon 190-191, 250
Gottfried Leibniz 306
graviton 183, 194, 250

H

hài hòa 17, 142-143, 182, 215, 285, 288, 292, 297, 321, 327
Hải Vương tinh 109
hằng số cơ bản 257
hằng số hấp dẫn 176, 257
hằng số Planck 153, 159, 176, 257
hằng số vũ trụ 215, 217, 220-224, 227, 245-246, 265-266
Hans Christian Ørsted 121
hấp dẫn lượng tử 178, 180, 199, 247-248, 250, 315
hạt ảo 10, 161-170, 172-175, 238, 246-249, 265, 296, 309, 313
hạt bụi 94, 171
hạt của Chúa 205-206
hạt giống thiên hà 238, 255
hạt Higgs 207-208, 252
hạt siêu đối ứng 250-251
hạt W và Z 206, 210, 250, 252
hệ Mặt Trời 109, 196, 221
hệ quy chiếu 105, 126-127
hệ quy chiếu tuyệt đối 126
Heinrich Hertz 128
helium 149, 255-256, 289, 295, 302
Hendrik Casimir 165

Hendrik Lorentz 132
Henri Bergson 16-17
Heraclitus 46
hiệu ứng Casimir 167, 246
hiệu ứng Doppler 187, 271
higgsino 233
Hindu 37
hình elip 99, 141
hổ phách 149
hỗn độn 33, 46, 108, 177, 215, 282, 285
horror vacui 8, 51, 54, 56, 66, 76, 78
Hugh Everett 261
hủy vật chất-phản vật chất 254
hydrogen 92, 149, 165, 193, 200, 202, 231-232, 255-256, 289, 295, 302

I

Isaac Newton 47, 50, 96, 100
Isabelle Robinet 318-319

J

James Clerk Maxwell 123, 195
jazz 159
Jean-François Champollion 112
Johannes Kepler 97
John Adams 109
John Dalton 147
John Ruskin 91
John Wheeler 141, 177
Jorge Luis Borges 35, 261
Joseph J. Thomson 149
Joseph Needham 281

K

kalpa 311
Kant 313
Karl Popper 268
Khí nguyên thủy 290-291
khí quyển 9, 65, 67-76, 79-80, 84, 86-92
khối lượng của lỗ đen 170-171
không gian 9-11, 13-14, 25, 28, 40, 47-51, 53, 56-58, 60-61, 63, 72-74, 80-82, 86, 89-94, 96, 99, 103,

105-108, 114, 116, 120, 123-128, 131, 135-139, 141-143, 150-152, 158, 162, 166-167, 169, 172-178, 180, 183-185, 188-190, 194-197, 199-200, 205, 213, 216-217, 220, 223, 225-227, 231, 236, 238-239, 246, 253, 256, 259-261, 268, 270-272, 278, 286, 291, 294-300, 302-303, 306, 308-310, 313, 322

L

lạm phát 222-223, 226-228, 230-231, 235-239, 241, 245-246, 253-255, 259-260, 267-268, 284, 314
Lão Tử 281-283, 290, 299, 318-319
Leonardo da Vinci 7, 62-63
LHC 185, 207-208, 233, 247, 252
linh hồn 279, 314
lỗ đen bay hơi 171
lỗ đen mini 171-172
lỗ đen siêu nặng 94
Lokavibhaga 31
Louis XIV 107
luật nhân quả 304, 321
lực cơ bản 164, 178, 180, 183, 190, 194, 196-197, 208-210, 214-215, 257-258, 261, 286, 297
lực điện hạt nhân 211, 214
lực điện từ 151, 154, 163-164, 178, 191-194, 196, 210-211, 214, 258
không khí 9, 46, 49-50, 54, 58-65, 67-68, 70-71, 74-77, 79-81, 83-92, 96, 105, 108-109, 111, 120, 129, 146, 219, 227, 278, 285
kiến trúc vũ trụ 249
Kinh Dịch 292-294, 306
kỷ nguyên điện yếu 203, 214, 254
kỷ nguyên Planck 213
kỷ nguyên thống nhất lớn 214

lực điện yếu 203, 210-211, 214
lực hấp dẫn 11, 61, 93, 95, 100, 109-111, 140-141, 164-165, 171, 176, 178-179, 181-184, 193-194, 210, 212, 214, 216-220, 224, 232-233, 237-239, 241, 244, 255-256, 258, 266, 269-272, 295, 312
lực hạt nhân mạnh 151, 164, 178, 190-192, 197, 210-211, 214
lực hạt nhân yếu 164, 192-193, 197, 206, 209-211, 214
lý thuyết dây 183-185, 212, 249-251, 258-262
lý thuyết hạt của ánh sáng 106
Lý thuyết M, 254-255, 262
lý thuyết thống nhất 179-180, 210, 212, 222

M

màng 91, 259, 261-262, 267, 312
Marcel Aymé 151
mặt cầu của các ngôi sao 54
mặt cầu sơ cấp 54
mặt cầu-chân trời 229-231, 267
mật độ bức xạ 199, 268
mật độ năng lượng của chân không 270
mật độ tới hạn 94, 231-236, 241, 244-245, 270, 312
mật độ vật chất 234, 236, 238, 255, 257, 268-269
Mặt Trăng 54, 65, 91-92, 97, 100-101, 109, 141, 194, 196, 219, 239, 288
Mặt Trời 14, 18, 54-55, 86, 90, 92, 97-100, 109, 111, 127-130, 141, 158, 171, 181-182, 192, 194-196, 221, 229, 243, 256, 276, 285, 288, 295, 301, 321, 326
Max Planck 145, 176
Michael Faraday 121, 174, 195
Michele Besso 140
mô hình vũ trụ 216, 225, 245, 310
mờ nhòe lượng tử 152, 156, 159, 239, 313

Mộc tinh 98
Muhammad ibn Musa al-Khuwarizmi 38
mythos 277

N

Nagarjuna 303-304, 306
nam châm 122-123, 193, 195
năng lượng chân không 246, 248-249, 252-253, 257, 265-267, 270
năng lượng điểm zero 174
năng lượng tối 11, 93-94, 173-174, 244-245, 257, 269, 312
Napoléon Bonaparte 101
neutralino 233
neutrino 183, 204, 228, 246, 252, 296
neutron 86, 93, 151, 163-164, 182-183, 190-191, 197, 204, 219, 228, 233, 255, 295
Ngân Hà 14, 18, 170, 172, 182, 188-189, 256, 270-273, 295
ngẫu nhiên 159, 173, 175-176, 188, 323
nghịch lý Zeno 34
ngôi sao 14, 18-19, 54, 86, 92, 94-95, 127, 129, 141, 170, 181-182, 192, 194, 232-233, 248, 255-256, 266, 276, 294-295, 302
người Babylon 28-30
người khắc kỷ 49
người Maya 26, 29-31
người ngoài hành tinh 18
người Sumer 24, 26, 28
nguyên lý bất định 10, 152-155, 157-161, 172-173, 175, 178, 184, 238, 247, 253, 296, 309, 313
nguyên lý bổ sung 321, 323, 325-326
nguyên lý giao thoa 117-118, 130
nguyên lý loại trừ 154-155
nguyên lý sáng tạo 279
nguyên lý vị nhân 258, 265
nguyên nhân gốc rễ 313-315
nguyên tắc cơ số 25

nguyên tử luận 8, 47-50, 56
nhà thờ Đức Bà ở Clermont 78
nhiễu xạ ánh sáng 117

O

ống thủy tinh 9, 67, 73, 75

P

Parmenides 34
pascaline 72
Paul Dirac 145
Pierre Gassendi 146
Peter Higgs, 198
phản electron 162, 254, 287
phản hạt 162, 168-169, 228, 254, 287, 289
phản-neutrino 246
phản quark 254
phản ứng nhiệt hạch 95
phản vật chất 161, 254, 286-289, 296
Phật giáo 11, 273, 277, 285, 290, 299-310, 312, 315, 320-321, 323, 325
phóng xạ 148, 192
Nho giáo 280
Niels Bohr 145, 262, 321, 323-324
nitrogen 87

Otto von Guericke 84

photino 233, 251
photon ảo 163-164, 248
phương pháp quy giản luận 276
Pierre Simon de Laplace 101, 154
plasma 273
Plato 8, 313
plutonium 192
pneuma 49
Poetic Edda 44
positron 162, 169, 246, 287
proton 86, 93, 151, 154, 163-165, 182-183, 190-191, 193, 197, 204-205, 207, 210, 212, 219, 228, 233, 255, 258, 295, 321

Q

quang học 106-107, 111-112, 118, 123-126, 152, 196, 286
quark down 204
quark top 204
quasar 94
quẻ 293-294
quipu 28
quỹ đạo elip 101, 130
quy giản luận 275-276

R

René Descartes 80
Richard Bentley 110
Richard Feynman 124
Rig-Veda 278-279
Robert Boyle 146
Robert Brout 198
Robert Hooke 108
Rodin 151, 192

S

sắc lệnh Nantes 107
sáng thế ex nihilo 307-308
sao chổi 101
sao lùn trắng 243
Satyendranath Bose 206
Saul Perlmutter 242
Schopenhauer 300
selectron 251
Shantideva 308
Sheldon Glashow 209, 211
Shing-Tung Yau 260
Shiva 37-38
Siddhartha Gautama 299
Siêu đám địa phương 271, 273, 295
siêu đám thiên hà 256
siêu đối xứng 250-251
siêu tân tinh 86, 95, 243
siêu tân tinh loại Ia 243
Siêu thiên hà 272-273
sifr 20
Số không Ấn Độ 38
số phận của vũ trụ 159
sóng âm 119-120, 136, 190
sóng ánh sáng 107-109, 114-120, 126, 130, 135-136,

196, 206, 271, 286
sóng điện từ 9, 96, 125-127, 195-196, 205, 286
sóng dọc 120
sóng nén 120
sóng ngang 120, 125, 128
sóng xác suất 158, 197, 262, 322
spin bán nguyên 250
spin nguyên 250
Stephen Hawking 170
Stephen Jay Gould 325
Steven Weinberg 209, 211, 265
sự sống 18-19, 44, 56, 82, 86, 90-91, 95-96, 191, 193, 238, 257-258, 264, 266-267, 279, 289, 297, 319
sunya 20, 31

T

tác dụng từ xa 195
tất định luận 154, 158
Tây Ban Nha 38-40, 52
Thái Cực quyền 298
Thales 46
thần thoại Babylon 44
thần thoại về sáng thế 44, 278
thăng giáng lượng tử 173-174, 184, 223-224, 239, 253, 314
thánh Augustine 52-53
thành phần của vũ trụ 31, 232, 234, 273
thí nghiệm tưởng tượng 16, 64-65
Thiền định 15-16
thiên hà 14, 18, 92, 94-95, 105, 165, 170-172, 178, 182, 187-190, 194, 226, 232-233, 236, 238-239, 241, 249, 253, 255-256, 267, 270-273, 276, 289, 294-295
thiên thần 55, 99, 101
Thổ tinh 98
thời gian chậm lại 139
thời gian Planck 177-178, 199, 203, 212-213, 238, 247-248
thời gian tuyến tính 313

Thomas d'Aquin 54, 313
Thomas Young 112, 130
thuật toán 133
thủy ngân 9, 67-81, 89, 105
thủy triều 101, 109, 184
thuyết tương đối hẹp 135, 140-142, 206, 218, 270
thuyết tương đối rộng 140-143, 175, 177-181, 183-184, 198, 212-213, 216, 218-219, 221, 231, 234, 240, 249
Tiamat 44
tiến hóa 9, 17, 40-41, 140, 182, 198, 202, 216, 222, 226, 243, 257, 281, 284, 286, 289-290, 292, 294, 305, 314, 319
tinh cầu 54, 99, 121
tính Không 154, 183, 285, 299-301, 303, 305-307, 309, 315
tốc độ ánh sáng 19, 86, 94, 110, 125-126, 129-133, 135-139, 160, 176, 196, 204, 206-207, 218, 230, 246, 254, 257, 267, 270, 298
tổng thể 150, 176, 202, 216, 276, 291, 302, 319-320, 324
Trái Đất 9, 14, 18, 40, 51, 54, 67, 84, 86-90, 92, 94, 97, 100, 109, 126-133, 136, 139, 141-142, 148, 193-196, 219, 221, 235, 243, 256, 264, 273, 276, 285, 288-289, 295, 326
Trang Tử 281-283, 290
Trung đạo 304, 320-321
trường điện từ 123, 174, 195-196, 206
trường hấp dẫn 141-142, 168-171, 175, 181, 184, 196, 217-219, 232, 298, 309, 314
trường Higgs 198, 202-206, 208-210, 213-214, 222-225, 242, 245-246, 284, 309
trường lực 172-173, 175, 195, 197
trường năng lượng 164, 197-199, 203, 208, 211, 213-

215, 223-225, 227, 284
trường phái
Copenhagen 261, 323
từ tính 121

U

Upanishad 279
uranium 192

V

vân giao thoa 112, 114-116, 131-133, 138
vật chất 10-11, 13, 16, 43-44, 46-49, 51, 54, 57-58, 80-82, 88, 92-96, 105, 107, 110, 121, 126, 128, 141, 146, 148-149, 151-155, 159, 161, 163, 166, 173, 182, 190-192, 195-197, 199-200, 215-221, 223-224, 229, 231-241, 244-245, 250, 254-255, 257, 266, 268-270, 273, 277, 286-290, 292, 296-297, 304, 312, 321-323, 325-326
vật chất bình thường 93, 220, 237
tương liên 11, 301-303, 307, 317, 320
Tycho Brahe 97

Urban Le Verrier 109

vật chất ngoại lai 93
vật chất nguyên thủy 43-44, 46
vật chất sáng 92-93, 232-233, 241, 244-245, 312
vật chất tối 92-94, 232-234, 244-245, 257, 273
vết khắc 21
Viện Hàn lâm Khoa học 107
vô thường 190, 282, 294-296, 305-306, 319
vũ điệu vũ trụ 295
vũ trụ bong bóng 259
vũ trụ đóng 231, 240
vũ trụ học 7, 10, 18-19, 31, 39, 52-53, 57, 98, 216, 222, 228, 245, 249, 253,

264, 284, 286, 288, 294, 302, 310-311, 313, 317
vũ trụ màng 261-262, 267
vũ trụ mở 240
vũ trụ phân nhánh 261, 263-264, 268
vũ trụ phẳng 235, 237, 240
vũ trụ song song 1), 258-259, 261, 263-2(4, 267
vũ trụ tăng tốc 24[illegible] 268
vũ trụ tĩnh 217, 22[illegible], 225, 230, 245, 294, 3 0
vũ trụ tuần hoàn 3[illegible]0-312

W

Waterloo 264
Werner Heisenberg 145, 152, 261-262, 277, 322, 324
Willis Lamb 165
WIMP 233
Wolfgang Pauli 14[illegible], 154, 261, 277

Y

Yakov Zeldovich 249
Ymir 44

Z

Zeno 34-35
zephirum 20
zino 233

Mục lục

Lời tựa 7

I. Cái Không trong toán học 13

II. Nỗi sợ hãi chân không 43

III. Về chân không và ether 97

IV. Chân không lượng tử 145

V. Vũ trụ sinh ra từ chân không 187

VI. Đạo của cái Không 275

Vĩ thanh Hòa giải các đối lập 317

Index 328

SỰ ĐẦY CỦA CÁI KHÔNG

TRỊNH XUÂN THUẬN

Chịu trách nhiệm xuất bản:
Giám đốc - Tổng biên tập NGUYỄN MINH NHỰT
Phụ trách bản thảo VŨ THỊ THU NHI
Biên tập và sửa bản in: TRẦN NGỌC NGÂN HÀ
Thiết kế bìa: BÙI NAM
Trình bày: ĐỖ VẠN HẠNH

NHÀ XUẤT BẢN TRẺ
Địa chỉ: 161B Lý Chính Thắng, Phường 7,
Quận 3, Thành phố Hồ Chí Minh
Điện thoại: (028) 39316289 - 39316211 - 39317849 - 38465596
Fax: (028) 38437450
E-mail: hopthubandoc@nxbtre.com.vn
Website: www.nxbtre.com.vn

CHI NHÁNH NHÀ XUẤT BẢN TRẺ TẠI HÀ NỘI
Địa chỉ: Số 21, dãy A11, khu Đầm Trấu, Phường Bạch Đằng,
Quận Hai Bà Trưng, Thành phố Hà Nội
Điện thoại: (024) 37734544
Fax: (024) 35123395
E-mail: chinhanhhanoi@nxbtre.com.vn

Công ty TNHH Sách điện tử Trẻ (YBOOK)
161B Lý Chính Thắng, P.7, Q.3, Tp. HCM
ĐT: 028 35261001 – Fax: 028 38437450
Email: info@ybook.vn
Website: www.ybook.vn

Khổ: 14,5 cm x 20,5 cm, số: 1447-2018/CXBIPH/3-86/Tre
Quyết định xuất bản số 796/QĐA-NXBT, ngày 24 tháng 7 năm 2018
In 2.000 cuốn, tại Xí nghiệp In Nguyễn Minh Hoàng
Địa chỉ: 510 Trường Chinh, phường 13, quận Tân Bình
In xong và nộp lưu chiểu quý III năm 2018

Cho dù là ở thang vũ trụ với "khoảng chân không vĩ đại giữa các vì sao" hay ở thang nguyên tử, sự tồn tại và thậm chí là sự hiện diện khắp nơi của chân không, theo tinh thần hiện đại, đã là một điều hiển nhiên. Thế mà phải mất tới hàng thiên niên kỷ tư tưởng này mới được chấp nhận, bởi các nhà triết học và khoa học, từ Aristotle đến Descartes, đều khăng khăng phủ nhận sự tồn tại của chân không. Hẳn là do họ nghĩ rằng chân không là hư vô, làm sao nó có thể tồn tại được.

Với một tài năng sư phạm lỗi lạc đã làm nên thành công cho nhiều tác phẩm của mình (trong đó có *Vũ trụ và Hoa sen*, NXB Albin Michel, 2011; bản tiếng Việt, NXB Tri Thức, 2013), nhà vật lý thiên văn nổi tiếng Trịnh Xuân Thuận đã kể lại cho chúng ta một thiên du ký vĩ đại về cái Không. Trong cuốn sách rất giàu tính sư phạm này, xuất phát từ lịch sử vô cùng hấp dẫn của việc phát minh ra số không trong số học, tác giả Trịnh Xuân Thuận đã dẫn dắt chúng ta theo hành trình phát hiện ra chân không, một cuộc phiêu lưu đầy cam go, nhưng vô cùng thú vị, từ cội nguồn cho tới lúc ra đời của khoa học thực nghiệm hiện đại với những tên tuổi lỗi lạc như Galileo và Pascal và cho đến tận vật lý hiện đại, như đã được các thuyết tương đối và cơ học lượng tử mô tả. Điều này chứng tỏ rằng chân không không phải là một hư vô trơ ỳ, vì những hạt phù du như các boson Higgs đều đã có thể xuất hiện từ đó.

Sự "màu mỡ" ấy của chân không mà người ta phát hiện ra ngày hôm nay, phần nào lại trùng hợp với những trực giác của các truyền thống Đạo giáo và Phật giáo, như tác giả đã chứng tỏ ở phần cuối cuốn sách.

SỬ DỤNG TEM THÔNG MINH - Chương trình chăm sóc khách hàng và khuyến mãi của NXB Trẻ. Cào tem và đăng ký bằng 1 trong 2 cách:
1. Truy cập http://cskh.nxbtre.com.vn/Active/ và đăng ký/đăng nhập tài khoản để nhập mã số
2. Dùng smartphone quét QR Code và đăng ký/đăng nhập tài khoản để nhập mã số. *Để được hỗ trợ xin liên hệ: Hotline: 0932.260.062 - Email: cskh@nxbtre.com.vn*

QR Code

SỐ SERI
AF0596388

MÃ TEM
NHÀ XUẤT BẢN TRẺ

ISBN 978-604-1-12825-5

Sự đẩy của cái không

Giá : 140.000 đ